This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Phys 2678.47

HARVARD
COLLEGE
LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RÉPERTOIRE

D'OPTIQUE MODERNE.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE WITTERSHEIM,
8, RUE MONTMORENCY.

Digitized by Google

RÉPERTOIRE

D'OPTIQUE MODERNE

ANALYSE COMPLÈTE DES TRAVAUX MODERNES RELATIFS
AUX PHÉNOMÈNES DE LA LUMIÈRE;

PAR
François Napoléon Marie
M. L'ABBÉ MOIGNO,
Aumônier du Lycée Louis-le-Grand,
Auteur des Leçons de Calcul différentiel et intégral,
Membre de l'Académie de Nancy, de la Société orientale, etc., etc.

Quatrième Partie.

PARIS,
A. FRANCK, RUE RICHELIEU, 69;
LEIPZIG,
MÊME MAISON.

1850

Digitized by Google

Phys 2678.47

HARVARD
UNIVERSITY
LIBRARY

41193
50-26
97-3

Digitized by Google

PRÉFACE

DU QUATRIÈME VOLUME.

Nous voici enfin arrivé, au terme de ce grand travail! Dieu soit béni! Nous désespérions presque de pouvoir en finir, tant, dans ces derniers mois surtout, chaque jour nous apportait de matériaux à analyser et à condenser.

Ce quatrième volume ne l'emporte pas seulement en étendue sur les trois premiers: il est plus abondant en recherches tout-à-fait originales, en travaux de premier mérite, en expériences complétement neuves. Voici dans l'ordre où nous les avons analysés, les principaux mémoires qu'il renferme: les belles observations de M. Haidinger, sur le chatoiement des surfaces cristallines, les houppes colorées de la lumière polarisée, et le pléochroïsme des cristaux; la théorie de la réfraction conique de M. Plücker; les brillantes études sur la réflexion métallique, la couleur des métaux, la réflexion à la surface des corps transparents et la polarisation du quartz, de M. Jamin; une nouvelle expérience d'interférence de M. Baden-Powel, dont M. Stokes a donné la théorie; l'analyse si parfaite du phénomène des interférences dans le cas de grandes différences de marche et de la polarisation chromatique produite par les lames épaisses cristallisées, de MM. Fizeau et Foucault; la disposition heureuse par laquelle M. Magnus a pu étudier la diffraction de la lumière dans le vide; le saccharimètre de M. Soleil, le plus parfait et peut-être le plus savant appareil de l'optique moderne; la notice si complète sur l'arc-en-ciel, la reproduction artificielle, l'explication raisonnée, et le calcul des phénomènes optiques auxquelles donnent lieu les nuages à particules glacées de M. Bravais; l'étude complète de la polarisation de l'atmosphère et des raies du spectre de sir David Brewster; les recherches sur la chaleur rayonnante, sa double réfraction, sa polarisation, sa diffraction, ses interférences, etc., de MM. Knoblauch, de la Provostaye et Paul Desains; les images photochromatiques de M. Edmond Becquerel; les nouvelles découvertes photographiques et les procédés de photographie sur verre de M. Niepce de Saint-Victor; les perfectionnements apportés à la science des apppareils d'acoustique, d'optique et d'astronomie optique, de M. Doppler;

Digitized by Google

l'expérience mémorable par laquelle M. Léon Foucault, en prouvant directement que la lumière va plus vite dans l'air que dans l'eau, a renversé à jamais le système de l'émission; l'illuminateur de M. Babinet, établi et réglé par M. l'abbé Dutirou; enfin les incomparables mémoires sur la photométrie de M. Arago, mémoires que nous n'avons pu qu'effleurer.

Deux tables, l'une analytique, par ordre alphabétique des matières; l'autre alphabétique des noms d'auteurs, devaient nécessairement compléter les quatre volumes du Répertoire. Nous les avons rédigées avec le plus grand soin, et nous leur avons donné une étendue peut-être exagérée.

La première est un résumé très-développé de toute l'optique moderne : nous regrettons d'être forcé d'avouer que la seconde laisse quelque chose à désirer. Nous voulions rapprocher de chaque nom propre l'indication bibliographique exacte de tous ceux des travaux de cet auteur que nous avions analysés et critiqués : il faut bien le reconnaître et le proclamer : à Paris, un semblable catalogue est absolument impossible, ou demanderait un temps excessif; nous ne pourrons le compléter que plus tard. Nous avons cependant ébauché ce travail dans notre table, et elle sera déjà très-utile.

Comme toujours, notre critique a été nette, franche, quelquefois un peu vive; on nous pardonnera d'avoir exprimé sans déguisement les sentiments d'un esprit indépendant, il est vrai, mais au fond toujours bienveillant.

Nous avons omis volontairement, sans les analyser dans ce quatrième volume, les mémoires et recherches relatives aux phénomènes de la vision, à la théorie de l'œil, aux couleurs subjectives, etc.; ces mémoires et ces recherches forment un vaste ensemble, qui demande un volume à part. Nous le rédigerons après que, dans deux mois au plus, nous aurons fait paraître un autre ouvrage impatiemment attendu et auquel on peut déjà souscrire, puisque six des feuilles et des planches dont il se composera sont déjà imprimées. Il a pour titre : OPTIQUE EXPÉRIMENTALE, ou l'*Ensemble des phénomènes et des propositions de l'optique, démontrés et établis expérimentalement à l'aide d'une série complète d'appareils construits par M. Soleil et son gendre M. Duboscq.*

Qu'on nous permette d'exprimer, en finissant, la joie que nous éprouvons en voyant qu'il ne reste plus que quelques exemplaires des cinq volumes du répertoire d'optique moderne et de la télégraphie électrique.

F. MOIGNO.

Paris, ce 12 juin 1850.

Digitized by Google

RÉPERTOIRE
D'OPTIQUE MODERNE.

QUATRIÈME PARTIE.

ANALYSE DES TRAVAUX DE 1847, 1848 ET 1849.

DISPERSION ET RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE.

Suite.

Nous donnerons avant tout la description de la loupe dichroscopique, l'instrument par excellence de l'optique minéralogique.

La loupe dichroscopique ou le dichroscope de M. Haidinger se compose d'un rhombe de spath d'Islande allongé, à base inclinée (fig. 3), obtenu par simple clivage : on colle aux extrémités deux prismes de verre P P, de 18 degrés, pour corriger l'inclinaison des bases. On regarde à travers la longueur un petit carré ou un petit rond taillé dans un écran opaque et qui apparaît doublé. On ajoute au rhombe une lentille, ou mieux une loupe aplanatique (fig. 2), et on l'enferme dans un tube en métal dont les deux bases sont percées, l'une de la petite ouverture carrée ou ronde, l'autre d'une ouverture placée en avant de la lentille ou de la loupe.

Fig. 1.

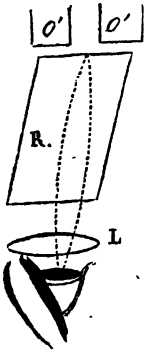


Fig. 2.

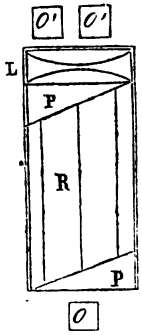
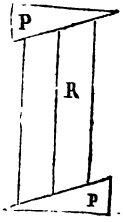


Fig. 3.



Digitized by Google

On obtient de cette manière un appareil de polarisation petit et portatif, applicable surtout à l'étude des phénomènes que présentent les cristaux dans la lumière polarisée. Comme les deux images de l'ouverture sont parfaitement blanches en elles-mêmes, elles sont très-sensibles et se colorent par les plus faibles teintes. Ces deux images sont, en général, polarisées dans des directions opposées ou perpendiculaires l'une à l'autre; le rayon ordinaire dans la direction des deux images, le rayon extraordinaire perpendiculairement à cette direction. On distingue très-facilement ces deux rayons par le contraste des houppes de la lumière polarisée que l'on voit se dessiner sur les images.

M. Haidinger, qui est la justice même, fait remarquer avec raison que son dichroscope a beaucoup d'analogie avec l'analyseur (fig. 1) employé par M. Baden Powell dans son appareil pour la polarisation rotatoire des liquides. Si le saccharimètre n'avait pas été inventé, nous aurions figuré et décrit l'appareil de M. Powell, qui sous plusieurs points de vue est préférable à l'instrument de M. Biot. On trouvera cette description dans le *Philosophical Magazine*, vol. XXII, p. 241.

Sur le chatoiement des surfaces cristallines, par GUIL. HAIDINGER.

On sait que la lumière réfléchie sur des surfaces unies est polarisée : le prisme de Nicol, le polariscope de M. Arago, les prismes achromatiques de spath calcaire, et les autres analyseurs, la loupe dichroscopique, surtout, sont très-propres à déterminer la quantité de lumière qui est polarisée par réflexion dans le plan d'incidence, et la quantité de lumière qui a échappé à la polarisation. Ces deux sortes de lumière, polarisées en sens contraire, se séparent très-nettement, et se partagent entre les deux images de la loupe dichroscopique. Pour observer les phénomènes, il faut que l'image *ordinaire* soit l'image supérieure, que l'image *extraordinaire* soit l'image inférieure; c'est-à-dire que la première de ces images doit être en haut, et la seconde en bas.

Les houppes jaunes de la lumière polarisée sont très-facilement perçues par l'œil dans les deux images, et si cette houppe est verticale dans l'image supérieure, l'instrument est dans une position convenable pour l'observation.

Digitized by Google

En examinant à l'aide de la loupe dichroscopique la réflexion de lumière ordinaire diffuse, par exemple, le gris clair des nuages, sur une surface de verre parfaitement polie, toute la lumière réfléchie passe dans l'image supérieure E, tandis que l'image inférieure O paraît sans éclat.

La première image est formée par le rayon ordinaire, la seconde, par le rayon extraordinaire du spath calcaire. L'image inférieure est noire, quand on a choisi un verre noir, ou quand en général on a empêché qu'aucune lumière étrangère ne parvienne de l'intérieur du verre transparent à l'œil. Tous ces phénomènes ont lieu, du reste, sous l'angle de polarisation.

Si le verre est transparent et coloré, ou non transparent, c'est-à-dire de la non-transparence blanche de sir D. Brewster, mais en même temps coloré, alors l'image supérieure est claire, l'image inférieure sans éclat et colorée. En éloignant la source de lumière, les deux images paraissent de la même couleur, sans que l'une soit plus claire que l'autre. La lumière colorée de l'intérieur du corps n'est pas polarisée : c'est de la lumière dispersée. La couleur, ainsi que cela a été récemment observé par M. Botzenhart, n'est pas immédiatement réfléchie à la surface, mais elle pénètre d'abord plus avant dans l'intérieur du corps, et c'est ainsi que, modifiée, elle sort sous forme de lumière dispersée. Cependant, sous un angle plus ou moins grand que l'angle de polarisation, il entre aussi dans l'image inférieure un peu de lumière réfléchie.

Pour les métaux, où la polarisation ne devient complète qu'après plusieurs réflexions, une grande portion de lumière réfléchie passe dans l'image inférieure E. Les métaux qui sont recouverts d'une couche brillante transparente produisent les deux images colorées, mais l'image supérieure, en raison de la réflexion plus forte à la première surface, est plus blanche. Quand on colore d'avance, à l'aide de verres transparents, le rayon lumineux qui va être réfléchi, les deux images sont colorées. Les surfaces ternies, couvertes par conséquent de feuilles minces d'une substance étrangère, présentent des phénomènes analogues, mais très-variés, et quelquefois très-curieux. Si la lumière réfléchie à la première surface de la couche mince interfère avec celle réfléchie à la seconde surface, toute la lumière est ordinairement polarisée, et la couleur passe exclusivement dans l'image supérieure,

Digitized by Google

ainsi que cela s'observe sur le laiton terni par oxydation. Mais s'il se produit un rayon extraordinairement réfracté, qui interfère avec le rayon réfléchi à la surface métallique, comme ce rayon réfracté est polarisé perpendiculairement au plan d'incidence, on obtient aussi dans l'image inférieure des couleurs de lames minces, comme avec l'acier bruni.

Toutes les apparences que nous venons de décrire se produisent d'ailleurs pour tous les azimuts, et, en tant que phénomènes physiques, servent à mettre en évidence les lois de l'action des substances sur la lumière ; ils ont été depuis longtemps l'objet des recherches de MM. Arago, Biot, Brewster, Herschel, Melloni et autres. Mais les observations relatives aux phénomènes qui se produisent avec des échantillons de substances inorganiques cristallisées sont encore très-incomplètes, et un vaste champ reste ouvert aux recherches des physiciens et des minéralogistes.

Tandis que les phénomènes qui ont lieu dans tous les azimuts appartiennent aux corps amorphes comme aux corps cristallisés simples ou composés, il existe des phénomènes propres et particuliers qui dépendent exclusivement de la forme cristalline, et dont l'étude exige la connaissance et l'examen comparatif de la forme régulière du cristal.

Parmi ces phénomènes, on remarque principalement le *chatoiement* des surfaces des cristaux et des surfaces de clivage, ou l'éclat métallique, orienté suivant des directions déterminées, que l'on observe, en partie avec la lumière ordinaire, en partie avec la lumière polarisée, sur des substances parfaitement transparentes. Les nombreux phénomènes qui se rattachent au chatoiement comprennent et unissent entre elles par des liens étroits toutes les sortes d'éclat observées jusqu'à présent.

Quoique je ne sois pas encore parvenu à découvrir les lois générales qui président aux phénomènes du chatoiement métallique, ainsi que je l'ai fait pour la répartition des couleurs dans le pléochroïsme de transmission, les observations que j'ai déjà faites sont trop pleines d'intérêt pour que je puisse résister au plaisir de les publier.

Plusieurs de ces phénomènes ont été déjà observés et décrits par d'autres savants. L'illustre physicien sir David Brewster s'en est beaucoup occupé, et nous lui devons une description très-fidèle des apparences produites par le chrysammate de potasse.

J'ai eu l'occasion d'examiner d'une manière plus ou moins parfaite,

Digitized by Google

dans plusieurs cristaux, des propriétés analogues. Voici les résultats de mes observations.

1. *Cyanure de potassium et de platine.*

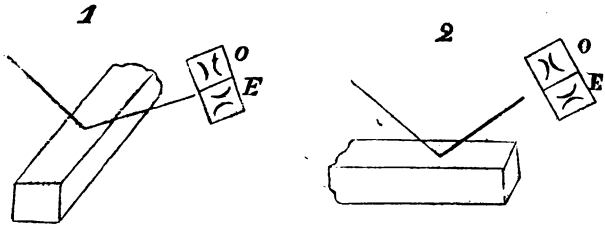
$$KCy^2 + PtCy^2 + 3H^2O.$$

Ce sel fut découvert par L. Gmelin, qui a remarqué la propriété singulière qu'il possède de donner par transmission une couleur jaune, tandis qu'il apparaît bleu quand on place ses longs prismes à quatre pans dans une position telle que la lumière soit réfléchie par une face terminale des cristaux.

Sous l'incidence perpendiculaire, une cassure transversale, normale à l'axe, réfléchit une couleur d'un beau bleu de ciel, quelque peu laiteux, tandis que les cristaux examinés dans la direction de l'axe sont parfaitement clairs et transparents. Vus transversalement, les prismes réfléchissent une lumière polarisée, blanche en apparence ; vus dans le sens longitudinal, ils manifestent encore une lueur bleuâtre.

La séparation des faisceaux de lumière polarisée perpendiculairement l'un à l'autre dans la loupe dichroscopique donne les résultats suivants :

Première observation. — Si l'on tient les prismes transversalement, fig. 1, l'image supérieure O brille d'un éclat vitreux, l'image inférieure E est tout à fait incolore.



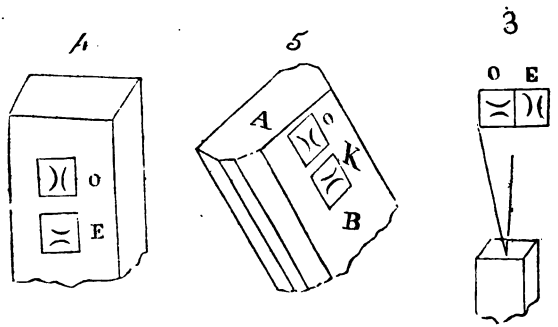
Deuxième observation. — Si l'on tient les prismes longitudinalement, fig. 2, l'image supérieure O brille également sans couleur, mais l'image inférieure E présente sur ses quatre faces une lueur bleuâtre bien distincte.

La lumière, en rencontrant la surface du prisme, est donc d'abord partagée en deux parties blanches. L'une des parties, composée de lumière ordinaire polarisée partiellement ou complétement, est réfléchie avec sa couleur blanche, indépendamment des propriétés de la

Digitized by Google

forme cristalline. L'autre portion pénètre dans le cristal, où elle se partage en deux faisceaux, l'un bleu et l'autre jaune. Le faisceau jaune est la couleur propre du cristal; le faisceau bleu n'est point absorbé, mais il est au moins partiellement réfléchi, de telle sorte qu'il est toujours polarisé dans la direction de la base de la forme cristalline, ou dans un plan perpendiculaire à l'axe.

Troisième observation. — La lumière perpendiculairement réfléchie sur une face terminale du cristal, ou sur la cassure transversale des prismes, est bleue en O comme en E, fig. 3. Si la réflexion a lieu sous l'angle de polarisation, l'éclat de l'image supérieure efface presque la couleur bleue faible, qui ne persiste que dans l'image inférieure. Mais, comme sous tous les azimuts on observe constamment le même phénomène, il est évident que la face terminale en question renvoie de l'intérieur du corps, et dans tous les azimuts, une portion de lumière extraordinairement polarisée.



Quatrième observation. La couleur transmise est un jaune de soufre pâle; les cristaux minces sont presque sans couleur. Cependant, au moyen de la loupe dichroscopique, on peut distinguer dans l'image inférieure E, comparativement à l'image supérieure O, une nuance qui est plutôt jaune-paille, fig. 4.

2. *Cyanure de baryum et de platine.*

$Pt^5 Ba^6 Cy^1$: abstraction faite de la quantité d'eau que cette substance renferme.

Ce cristal, qui est souvent d'une longueur de deux lignes et d'une largeur d'une demi-ligne, forme un prisme octogone qui se ramène, d'après la mesure prise par M. V. Hauer, à l'aide du goniomètre de

Digitized by Google

réflexion, à un prisme rhomboïque de 100° et 80°, avec deux diagonales rectangulaires. Mais ses faces sont développées d'une manière si irrégulière, que souvent une face moins étendue répond à une face parallèle plus large et plus étendue. Les extrémités sont formées de faces obliques : la couleur des cristaux est un beau bleu.

Première observation. — Si on tient le cristal transversalement, fig. 1, l'image supérieure de la loupe dichroscopique est blanche, l'image inférieure sans couleur et sans éclat : toute la lumière est polarisée dans un plan perpendiculaire à l'axe du cristal : mais la lumière blanche est tellement intense, que la sensation produite par elle détruit entièrement l'effet du bleu.

Deuxième observation. — Si l'on tient le prisme longitudinalement, chacune des faces cristallines produit dans la loupe dichroscopique une image supérieure blanche et une image inférieure d'un beau bleu azur. La lumière blanche est polarisée dans la direction de l'axe, la lumière bleue perpendiculairement à l'axe.

Troisième observation.— La réflexion d'un objet sur les faces cristallines, observée de près à l'œil nu, sous un azimut quelconque, donne toujours une image saillante sur un fond bleuâtre uniforme. Les deux sortes de lumière se montrent constamment mêlées, et ne peuvent être séparées que par des moyens appropriés.

Dans le cyanure de potassium et de platine, c'étaient les faces terminales, ici ce sont les faces latérales des prismes qui donnent le bleu.

Quatrième observation.—Si on place un cristal directement devant l'œil et en face de la lumière, de manière que son intérieur s'éclaire par la face A, fig. 5, l'arête entre les faces A et B se remplit d'une lueur vert-serin très-riche. Dans la loupe dichroscopique, cette lueur passe entièrement dans l'image supérieure O, ce qui prouve qu'elle est composée de lumière polarisée et produite par réflexion. L'image inférieure E présente la couleur uniforme jaune pure de la lumière qui a traversé le cristal.

Cinquième observation. — Si, fig. 5, la lumière diffuse entre par les faces latérales B, on observe à l'œil nu les bords vert-clair à travers la face terminale A, mais ce vert ne se décompose plus dans la loupe.

Sixième observation. — Quand on examine avec la loupe dichro-

Digitized by Google

scopique le cristal dans la lumière transmise, fig. 4, l'image supérieure O affecte une couleur jaune pure et très-claire, tandis que l'image inférieure est richement teinte d'un mélange des couleurs rouge et verte du spectre. Nous ajoutons seulement, comme remarque, que les angles et l'indice de réfraction ont justement les valeurs nécessaires pour donner au rayon extraordinaire la position exigée dans ces phénomènes.

3. *Cyanure de magnesium et de platine.*

Pt Mg Cy.

Ces cristaux forment des prismes à base carrée, quelquefois combinés avec une pyramide diagonale, dont les arêtes axiales forment un angle de 126° 21′, et les arêtes de la base un angle de 79° 18′, d'après les mesures de M. le Dr. Springer.

Les cristaux minces sont souvent groupés en rose, et présentent, sous toutes les directions, dans la lumière transmise, des teintes rouge-carmin des plus variées; dans la lumière réfléchie, des couleurs métalliques vertes et bleues.

Première observation. — Des cristaux isolés, vus par transmission à l'œil nu, présentent une couleur rouge-carmin. En les examinant avec la loupe dichroscopique, fig. 4, les deux images, quand l'épaisseur du cristal est d'une demi-ligne, ne peuvent plus être distinguées l'un de l'autre, et sont colorées du plus beau rouge carmin. Les cristaux minces donnent une image supérieure, dont la couleur penche plus vers le rouge cramoisi; d'où il arrive que, dans les cristaux minces, la couleur de la base paraît plus bleuâtre, et la couleur de l'axe moins bleuâtre.

Deuxième observation. — La face terminale, ordinairement douée de très-peu d'éclat, apparaît à l'œil éclairée par un bleu sombre. Dans la loupe dichroscopique, fig. 3, et sous l'incidence perpendiculaire, les deux images O et E sont d'un bleu-azur sombre. Plus la face est polie, plus la lumière bleue est éclipsée par la lumière blanche réfléchie. Sous l'angle de polarisation, toute la lumière blanche passe dans le rayon ordinaire, et la lumière bleu-azur du rayon extraordinaire se présente avec une intensité et une pureté merveilleuses. Ce phénomène a lieu sous tous les azimuts; donc la face terminale produit, comme dans le cyanure de potassium et de platine, une réflexion extérieure de lumière blanche, ainsi que le font tous

Digitized by Google

les corps polis, et un rayonnement ou réflexion intérieure de lumière bleue, qui n'a pas été absorbée.

Troisième observation. — Les faces latérales des prismes s'offrent à l'œil nu avec un éclat vert métallique. Si on les tient transversalement, *fig.* 1, ils prennent, quand l'incidence est à peu près normale, un éclat métallique vert-pré, qui, à mesure que l'angle d'incidence augmente, passe successivement au bronze métallique, au vert jaunâtre, au brun d'acier. Vers la fin, on observe un reflet sans couleur, à travers lequel on aperçoit le rouge non métallique.

Quatrième observation. — En tenant les prismes longitudinalement, fig. 2, la lumière normalement réfléchie présente le même éclat métallique vert-pré. Sous des angles d'incidence plus considérables, la couleur paraît vert émeraude, ensuite vert-de-gris, bleu canard, bleu d'azur, et enfin reparaît le reflet sans couleur, au-dessous duquel brille la couleur rouge propre du cristal.

Cinquième observation. — Lorsqu'on donne à la loupe dichroscopique une position perpendiculaire aux prismes tenus transversalement, l'image supérieure est d'une couleur verte métallique; l'image inférieure présente l'éclat vitreux transparent, avec la couleur rouge transmise. Sous des incidences plus grandes, l'image supérieure change de couleur, et après avoir parcouru la série des nuances jaunes métalliques, redevient incolore, comme cela avait lieu dans la troisième observation, tandis qu'il se développe dans l'image inférieure un beau bleu d'azur.

Sixième observation. — Si l'on analyse le cristal dans le sens longitudinal, fig. 2, avec la loupe dichroscopique, l'image supérieure, sous l'incidence à peu près perpendiculaire, est d'un rouge transmis; l'image inférieure d'un vert métallique réfléchi. Sous des angles d'incidence plus grands, le bleu se combine avec le vert métallique, et les couleurs disparaissent après avoir parcouru la série des nuances bleues métalliques, comme cela a eu lieu dans la quatrième observation. L'image supérieure conserve l'éclat pur vitreux de la surface.

Sous les incidences les plus variées, la lumière réfléchie se compose :

1° De lumière blanche qui, sous l'angle de polarisation, passe dans l'image supérieure;

2° De lumière verte métallique, polarisée dans le plan perpendi-

Digitized by Google

culaire à l'axe, et qui passe, par conséquent, dans l'image supérieure, quand le cristal est placé transversalement, et dans l'image inférieure, quand le cristal est placé longitudinalement;

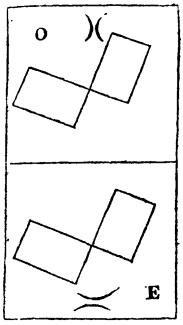
3° De lumière bleu azur, polarisée dans tous les azimuts, perpendiculairement au plan d'incidence, et qui passe, par conséquent, dans l'image inférieure, quand le cristal est placé transversalement, et dans l'image supérieure, quand le cristal est placé longitudinalement: dans ce dernier cas, elle est mêlée à de la lumière verte mémétallique, dont le plan de polarisation coïncide en partie avec le sien.

Septième observation. — En analysant avec la loupe les faces pyramidales, on observe de très-beaux effets de lumière. Dans la position longitudinale, l'image supérieure est blanche, l'image inférieure d'un bleu azur. Dans la position transversale, l'image supérieure est d'un vert bleuâtre, l'image inférieure bleue. Entre les faces terminales et latérales, on observe des nuances intermédiaires.

Huitième observation. — Par la combinaison des observations précédentes, on obtient des contrastes de couleurs magnifiques. A cette fin, on pose sur la même base deux cristaux de grandeur presque égale et dont la longueur excède la largeur, de manière que leurs axes forment ensemble un angle droit et se touchent suivant un angle latéral, comme on le voit fig. 6. L'un des cristaux est placé longitudinalement, l'autre transversalement.

La position longitudinale de l'un est la position transversale de

6



l'autre. Pendant qu'observées, soit à l'œil nu, soit à la loupe dichro-

Digitized by Google

scopique, les apparences de l'un des cristaux passent par toutes les phases des nuances jaunes métalliques, les apparences de l'autre passent par toutes les nuances bleues, et réciproquement. Ce double contraste ressort parfaitement dans tous les azimuts. Dans la position représentée fig. 6, les couleurs des quatre faces, vues dans la loupe dichroscopique, sont sous l'angle de polarisation.

O I. Brun tombac.	E I. Vert-de-gris.
O II. Vert-pré.	E II. Bleu d'azur.

Neuvième observation. — En étendant, avec un couteau, une couche plane de cristaux sur une plaque de verre, on obtient une surface sombre, violette, un peu brunâtre même. La loupe décompose le rayon réfléchi. L'image ordinaire supérieure contient toute la lumière blanche réfléchie à la surface, complétement polarisée sous l'angle de polarisation. L'image inférieure est d'un beau bleu azur, ainsi que les faces cristallines, et contient de la lumière polarisée sous tous les azimuts, perpendiculairement au plan d'incidence. La répartition des couleurs ne dépend donc pas de la forme cristalline, mais elle appartient à chaque particule de la substance.

Dixième observation. — Une goutte de la solution aqueuse de cyanure de magnesium et de platine, rapidement évaporée sur une plaque de verre blanc, donne une couche d'un éclat vert métallique transparent, colorée en rouge par transmission. Si les cristaux sont tellement petits qu'ils ne produisent que l'impression générale du vert métallique, alors la loupe, en décomposant le phénomène, présente une image supérieure vert jaunâtre métallique, et une image inférieure vert bleuâtre métallique. L'image supérieure se forme, quand on place le cristal transversalement; l'image inférieure, quand on le place longitudinalement. Ce phénomène reste le même sous tous les azimuts.

4. *Murexyde.*

$$C^{12} \quad H^{6} \quad N^{5} \quad O^{8}.$$

La couleur et l'éclat de cette substance ressemblent à la couleur et à l'éclat des ailes du scarabé vert, *Goldkaefer* de Vohler. Dans la lumière transmise ce corps est d'un rouge sombre, et dans la lumière réfléchie, sous une incidence presque perpendiculaire, il affecte une couleur métallique vert-pistache.

Les cristaux de cette substance sont tellement petits, qu'on ne peut

Digitized by Google

pas reconnaître avec certitude leur forme. Ils semblent être accouplés deux à deux, ce qui rend leur mesure encore plus difficile. Cependant on peut distinguer que la longueur de ces lames cristallines excède leur épaisseur et leur largeur, et que leur section transversale est un rectangle oblong.

Première observation. — Faces larges. — Dans la position transversale, avec de la lumière tombant presque perpendiculairement et réfléchie, fig. 1, les images supérieure et inférieure présentent le même vert d'or pistache. Sous un angle d'incidence plus grand, l'image supérieure ordinaire passe du jaune de laiton au jaune d'or, et du jaune d'or à une nuance rougeâtre non métallique; l'image inférieure, au contraire, passe au vert-pré, puis au vert émeraude métallique, et prend enfin une couleur sombre bleu-indigo verdâtre qui ressemble au bleu d'acier.

Deuxième observation. — Faces larges. — Dans la position longitudinale, fig. 2, l'image supérieure penche vers le jaune laiton et vert-pré; l'image l'inférieure conserve les nuances jaunes d'or et brun tombac, sans renfermer de bleu.

Troisième observation. — Faces étroites des lamelles. — Dans la position transversale il se manifeste à l'œil nu une nuance métallique jaune, *speisgelb*. Dans la loupe dichroscopique, l'image supérieure est d'une teinte jaune, polarisée dans la direction perpendiculaire aux lames, et l'image inférieure est d'un bleu azur qui est plus vif sous des incidences intermédiaires.

Quatrième observation. — Face étroite. — Dans la position longitudinale des lames, fig. 2, l'image supérieure ne contient que de la lumière réfléchie à la surface et complétement polarisée sous l'angle de polarisation. L'image inférieure est d'un vert cuivre métallique. Toute la lumière jaune métallique est polarisée dans la direction perpendiculaire à l'axe, mais la lumière bleue l'est sous tous les azimuts, et se combine dans la direction perpendiculaire avec le vert extraordinaire.

Cinquième observation. — Étendu avec une large lame de couteau sur une plaque de verre, le murexyde prend l'éclat métallique et la couleur verte d'or pistache. Sous l'incidence perpendiculaire, cette dernière couleur s'étend sur les deux images de la loupe dichroscopique. Sous des incidences obliques, l'image ordinaire supérieure est sous tous les azimuts d'un jaune laiton, l'image inférieure

Digitized by Google

d'un bleu indigo verdâtre foncé, semblable au bleu d'acier. La structure cristalline n'exerce aucune influence sur ce phénomène, qui est l'effet des moindres particules de la matière.

Les cristaux dont je pouvais me servir étaient tellement petits, que je ne suis pas parvenu à observer les phénomènes relatifs à la troisième face, ou à la base, qui est perpendiculaire aux deux premières faces.

Les cristaux d'ailleurs sont limités par une face terminale oblique posée sur les faces latérales minces. En la plaçant tout-à-fait en face de la loupe dichroscopique, et en l'observant comme dans la fig. 4, l'image ordinaire supérieure est tout à fait sombre et opaque, tandis que l'image inférieure présente un beau bleu violet.

5. *Hydrochinon vert.*

L'aspect de cette substance est à peu près celui des cristaux qui viennent d'être d'écrits. Seulement sa couleur est plus sombre.

L'unique face visible sur ces particules cristallines extrêmement petites présente, quand on l'observe en sens transversal, une couleur qui ressemble au jaune laiton, mais qui est cependant un peu plus verdâtre que cette dernière, et qui passe dans l'image supérieure de la loupe, tandis que l'image inférieure est sans couleur. En observant dans le sens longitudinal, l'image supérieure brille d'une lumière superficiellement polarisée ; l'image inférieure est de couleur métallique.

La couleur métallique jaune verdâtre est polarisée perpendiculairement à l'axe des lamelles cristallines.

Les cristaux entassés l'un sur l'autre sont d'une couleur noire verdâtre sombre. Exposés au soleil, ils produisent des éclats semblables à ceux du laiton.

Les particules cristallines les plus minces transmettent la lumière solaire avec une couleur rouge-sang foncée.

Réduits à l'état de poudre et étendus sur une plaque de verre, les cristaux présentent dans la lumière transmise une couleur bleu-violet sombre. Sous l'incidence perpendiculaire, les deux images de la loupe sont d'un brun tombac qui penche vers le jaune *speisgelb*.

Sous des angles d'incidence plus grands, les nuances se changent l'une dans l'autre. L'image supérieure devient jaune brunâtre, l'image

Digitized by Google

inférieure affecte un vert d'acier sombre, puis un vert noirâtre avec chatoiement métallique.

Oxalate d'oxydule de platine.

$\dot{P}t\ \dddot{C}$.

Les cristaux de cette substance sont très petits : il fallait donc les étendre sur une plaque de verre, afin de pouvoir faire les observations sur de plus grandes surfaces.

En les examinant transversalement, l'image supérieure O de la loupe dichroscopique est sombre, d'un bleu d'acier ; l'image inférieure E est d'un rouge-cuivre foncé, qui devient brun tombac et jaune *speisgelb*, sous des inclinaisons plus grandes. Sous l'incidence perpendiculaire la couleur des deux images se rapproche du bleu-violet métallique.

Lorsqu'on observe longitudinalement, l'image supérieure O brille d'une couleur bleu violet qui tend au rouge cuivre ; l'image inférieure est d'un rouge cuivre, pur, sans éclat, semblable au rouge du bronze métallique.

Si on étend les cristaux dans toutes les directions et sous tous les azimuts sur une plaque de verre, l'image supérieure est plus brillante et d'une couleur bleu-violet brunâtre ; l'image inférieure, d'une couleur rouge cuivre mat.

En enfermant les cristaux noyés dans du baume de Canada entre deux plaques de verre, et en observant dans la direction verticale les petits filaments cristallisés, l'image supérieure de la loupe est brillante, tandis que l'image inférieure est sombre : si les filaments sont trop petits, on ne peut pas distinguer la couleur.

Si on fait évaporer lentement la solution aqueuse de cette substance dans un verre d'épreuve cylindrique, il se forme aux endroits où l'eau a disparu des faisceaux de cristaux que l'on peut examiner avec plus de facilité. L'image supérieure de la loupe dichroscopique est de couleur brun-jaunâtre pâle, semblable à la couleur de beaux cheveux blonds. Dans l'image inférieure les cristaux se présentent seulement là où ils se touchent, avec une couleur bleu-indigo foncée, que l'on n'observe qu'avec la lumière directe du soleil. Cette observation demandait à être confirmée ; pour arriver à ce but, il a fallu étendre les cristaux sur une plaque de verre transparente, et exa-

Digitized by Google

miner dans la lumière transmise les parties les plus minces de la couche cristallisée, à l'aide de la loupe ; l'on voyait alors le bleu-indigo foncé se manifester d'une manière très distincte.

Il en résulte que, par rapport à l'axe des petits prismes, le rayon extraordinaire polarisé perpendiculairement à cet axe est d'un bleu-indigo, et plus absorbé que le rayon ordinaire, qui est de couleur blonde.

7. *Indigo.*

Les cristaux d'indigo forment des prismes aplatis dont la section transversale est rectangulaire, et ressemblent à des plaques ; leurs faces larges et minces présentent dans le sens longitudinal, dans le sens transversal, et sous tous les azimuts, exactement les mêmes phénomènes. Les deux images sont de couleur rouge cuivre. Sous l'angle de polarisation et sous des angles encore plus grands, l'image ordinaire supérieure est d'un éclat plus blanc et paraît plus claire ; sous de grandes inclinaisons, le rouge cuivré de l'image inférieure passe au jaune-d'or et même au jaune-laiton.

CONCLUSIONS. — La plupart des substances ci-dessus indiquées ne pouvaient pas être parfaitement examinées. Souvent plusieurs propriétés importantes, même optiques, manquaient tout à fait. Les dimensions minimes des cristaux s'opposaient à des recherches plus approfondies et plus complètes, de sorte qu'il est impossible encore de donner à l'ensemble des propriétés observées une forme générale. Néanmoins nos observations suffisent pour jeter quelque jour sur l'apparition physique et l'orientation du phénomème relativement aux axes de cristallisation.

En général, on peut dire que le *chatoiement* des surfaces cristallines est formé *de lumière colorée renvoyée à la surface des cristaux transparents, et polarisée perpendiculairement au plan d'incidence du rayon.*

Les trois cyanures présentent le chatoiement sous trois formes différentes :

1° *Sur la base des prismes, sous tous les azimuts ; sur les surfaces latérales des prismes dans le plan perpendiculaire à l'axe :* lueur bleuâtre du cyanure de potassium et de platine ;

2° *Aucun chatoiement sur la base ; sur les surfaces latérales des prismes dans le plan perpendiculaire à l'axe :* chatoiement bleu

Digitized by Google

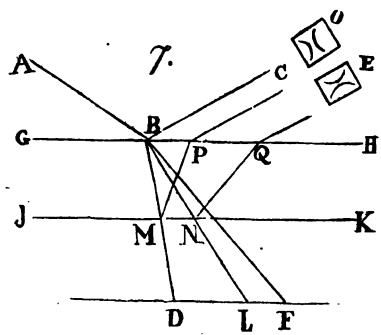
d'azur du cyanure de barium et de platine; chatoiement vert du cyanure de magnesium et de platine;

3° *Chatoiement sur toutes les surfaces et sous tous les azimuts;* chatoiement bleu d'azur du cyanure de magnésium et de platine.

Le dernier de ces cristaux offre donc en même temps les deux formes de chatoiement; la face terminale ne présente que la dernière; sur la face latérale on les observe séparément dans la position transversale des prismes: le vert-jaunâtre dans l'image supérieure, le bleu d'azur dans l'image inférieure. Dans la position longitudinale des prismes les couleurs se présentent à la fois dans l'image inférieure et produisent le vert-bleuâtre.

Le phénomène dans sa troisième forme est indépendant de la structure cristalline. Tandis que le chatoiement vert disparaît, quand on étend les cristaux sur une plaque plane, le bleu d'azur reste: il est donc produit par la masse même. Mais si l'on parvient, dans le cas où l'on opère sur des cristaux très-petits et filamenteux, comme cela eut lieu ci-dessus avec l'oxalate d'oxydule de platine, à rendre parallèles par extension un grand nombre de filaments, on peut observer l'orientation des phénomènes par rapport à la structure cristalline.

Pour expliquer la marche physique du phénomème en question, il sera mieux de recourir à un exemple, par exemple, au chatoiement vert métallique du cyanure de magnesium et de platine. La réflexion ordinaire, celle qui a lieu communément à la surface de tous les corps



polis, s'opère sans la décomposition de la lumière en couleurs. Mais après l'incidence, les vibrations des molécules de l'éther lu-

Digitized by Google

mineux sont autrement ordonnées qu'avant l'incidence, de telle sorte que, sous un certain angle d'incidence, le rayon réfléchi est complétement polarisé, tandis que le rayon perpendiculaire au faisceau réfléchi pénètre dans le cristal, où il subit plusieurs modifications différentes, suivant la nature de la substance. Dans tous les phénomènes du chatoiement épipolique ou superficiel, le rayon ordinaire polarisé dans le plan d'incidence se sépare dans certaines positions. La fig. 7 montre le rayon ordinaire O renvoyé de AB vers BC. En B, la lumière pénètre dans le cristal. Dans le cyanure de magnesium et de platine doué de la double réfraction, la lumière est partagée en deux faisceaux lumineux polarisés perpendiculairement, et dont les vibrations éthérées respectives s'exécutent dans deux plans respectivement perpendiculaires : les unes dans le plan de la section principale passant par l'axe et la droite GH parallèle à l'axe, les autres dans un plan perpendiculaire au premier. Dans la section principale du cristal les faisceaux lumineux diffèrent un peu de direction ; cependant on peut les représenter par l'espace B D F, espace dans l'intérieur duquel ils s'épanouissent pour donner naissance à un spectre. La ligne DF représente les couleurs réunies, mais polarisées dans deux directions perpendiculaires.

Si aucune réflexion ultérieure n'avait lieu, alors LF représenterait la portion de lumière qui a traversé le corps coloré rouge, et DL la portion de lumière absorbée. Mais on peut imaginer aussi près que l'on voudra de la surface GH une seconde surface JK sur laquelle tombe le rayon lumineux déjà modifié par l'influence propre du corps, de sorte que MN reçoit de la lumière réfractée.

Cette seconde surface peut, suivant la nature de la substance, agir d'une manière très-différente sur les rayons polarisés dans les deux directions perpendiculaires, le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire. Le spectre donné par la flamme d'une bougie observée à travers une plaque mince parallèle à une des faces prismatiques du cyanure de magnesium et de platine apparaît coloré d'un rouge pur, polarisé dans les deux directions. La portion du rayon lumineux LF, appartenant et au spectre ordinaire et au spectre extraordinaire, a traversé la substance. Mais l'autre portion restante a été absorbée ou réfléchie. L'absorption d'une portion de lumière, commençant à la surface JK, continue jusqu'à ce que, à une

Digitized by Google

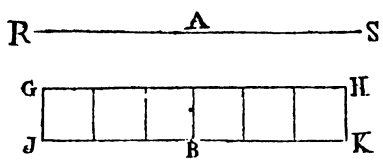
certaine épaisseur, elle soit devenue complète ; mais la réflexion en MN, où elle prend naissance, doit se produire subitement, et avec la même intensité pour des plaques minces ou épaisses.

En effet, dans le cyanure de magnesium et de platine on rencontre une réflexion de lumière verte dans la direction de MN vers PQ, réflexion que l'on observe dans l'image extraordinaire E éclairée par la lumière d'une bougie et examinée à l'aide d'un prisme de verre ; ce rayon réfléchi renferme toutes les couleurs du prisme, depuis le violet jusqu'à l'orangé ; on voit même une bande étroite de rouge. Donc le spectre extraordinairement polarisé est réfléchi, à l'exception d'une petite partie du rouge, tandis que le spectre ordinairement polarisé est absorbé par le cristal, à l'exception de cette même portion de rouge : comme la partie MN du spectre est toujours polarisée perpendiculairement à l'axe principal, cette portion MN est donc constamment polarisée dans une direction perpendiculaire à la ligne GH ; aussi passe-t-elle dans l'image inférieure, pourvu que le rayon incident soit compris dans la section principale, comme le représente la figure 7. Mais si l'incidence de la lumière a lieu perpendiculairement à l'axe principal, cette partie du spectre MN passe dans l'image supérieure de la loupe dichroscopique.

Ces phénomènes, comme M. Brewster le fait observer, ne sont point le produit d'une couche d'oxyde déposée sur la surface naturelle des cristaux ; toutefois ils appartiennent et à la surface et à la masse des cristaux. En partant de la construction précédente, on peut arriver à se former une idée de l'arrangement de l'éther lumineux que l'on suppose exister entre les molécules des substances fluides et solides, et de son mode particulier d'existence dans les substances cristallisées.

Supposé, fig. 8, que GH soit la surface efficace, ou le plan de sé-

8



paration entre le milieu moins dense RS ou A, et le milieu plus dense JK ou B. Au delà de la couche RS des molécules d'éther, le

Digitized by Google

milieu A est uniforme; au delà de la couche JK, le milieu B l'est également, mais différemment du premier. Si un mouvement ondulatoire s'est propagé dans l'intérieur du milieu homogène A jusqu'à RS, ce mouvement continue à traverser d'une manière uniforme toutes les autres couches parallèles jusqu'à GH.

Il ne peut prendre sa forme nouvelle qu'après avoir subi l'influence extrinsèque de l'arrangement moléculaire dans le milieu B. C'est donc la première surface ou la surface supérieure GH du nouveau milieu, et la première couche intérieure d'éther, qui détermineront la propagation du mouvement ondulatoire. L'onde, d'après les lois générales des corps élastiques, traverse de nouveau sans dérangement et sans modification la première couche d'éther RS : car c'est un simple mouvement *intérieur* au sein du milieu A. C'est seulement au delà de la couche JK que l'onde, dans le milieu B, peut être regardée comme traversant un milieu homogène. On peut donc, dans tous les cas, disposer de la phase du mouvement ondulatoire propagé à la surface GH, et dans la première couche d'éther lumineux, de manière à satisfaire à toutes les conditions exigées dans la construction ou la représentation graphique des phénomènes ci-dessus décrits.

Si l'on préfère admettre l'existence d'une couche d'éther lumineux, adhérente aux surfaces de séparation des deux corps, alors, dans la fig. 8, RS représentera la surface du premier milieu, JK la surface du second milieu. La couche d'éther lumineux infiniment mince RK se composerait néanmoins de deux portions distinctes et douées de qualités différentes, parce que RH représente l'atmosphère éthérée du corps A, et GK l'atmosphère éthérée du corps B. La première réflexion incolore et la réfraction colorée auraient lieu alors en GH, au contact des deux couches d'éther lumineux, tandis que la réflexion chromatique s'opérerait sur la surface efficace du milieu B, savoir, en JK.

Cette dernière manière de considérer l'action des milieux semble jeter quelque jour sur le phénomène des couleurs jaune et violette des houppes lumineuses de polarisation : elle mérite d'être poursuivie avec soin.

On peut donc conclure avec certitude des observations précédentes que le chatoiement métallique superficiel réfléchi est formé d'*une* portion de lumière qui a pénétré dans le cristal, et d'*une autre*

Digitized by Google

portion complémentaire qui produit la sensation de la couleur propre. Les couleurs violettes et rouges des cristaux se rencontrent liées avec un chatoiement vert, les couleurs jaunes avec un chatoiement bleu, les couleurs bleues avec un chatoiement rouge-cuivré et jaune d'or. Une étude plus complète des surfaces chatoyantes ferait retrouver la série complète des couleurs prismatiques.

DOUBLE RÉFRACTION. — SURFACE DE L'ONDE, RÉFRACTION CONIQUE.

Nous avons épuisé tout ce qui concerne la réfraction simple, la décomposition des couleurs, la dispersion, et nous passons à un chapitre beaucoup plus pauvre, la double réfraction.

Le phénomène de la réfraction conique est encore trop peu connu, on n'en a pas encore donné d'une manière élémentaire la théorie complète ; aussi espérons-nous que l'on accueillera avec bienveillance les développements suivants, que nous devons à l'amitié de M. Plücker et au zèle de son élève privilégié, M. Beer. Nous n'avons rien changé à leur travail.

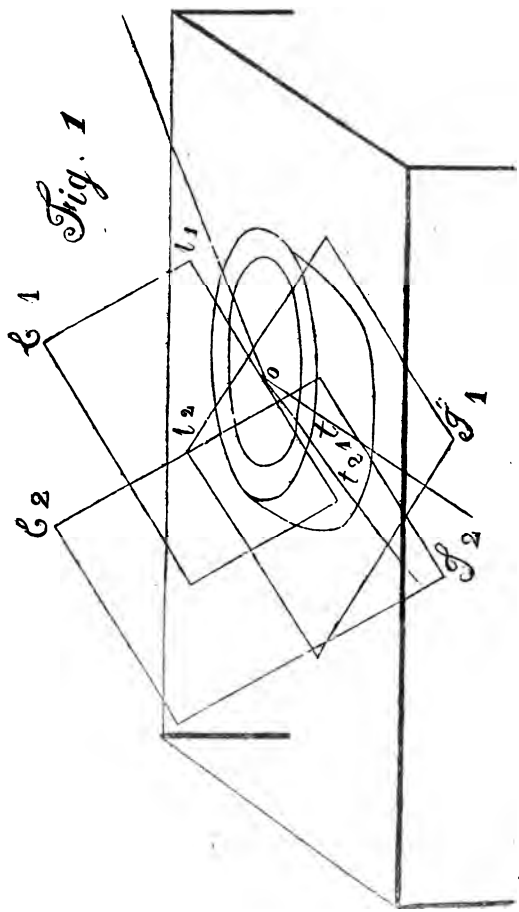
Mémoire sur la double réfraction conique, par M. PLUCKER.

I. Quand un faisceau cylindrique de lumière, ou, ce qui est la même chose, un front d'onde plane et limitée sort d'un milieu isotrope pour pénétrer à travers une surface plane de séparation dans un second milieu homogène, soit simplement, soit doublement réfringent, la lumière réfractée correspond, comme on sait, à une autre surface-limite du mouvement propagé, que la lumière incidente. C'est le principe de Huyghens qui apprend à trouver cette surface, et d'où l'on déduit facilement la construction générale suivante :

Perpendiculairement à l'arête du faisceau cylindrique incident on mène deux plans E_1 et E_2, fig. 1, dont la distance mutuelle soit d, et qui coupent la surface de séparation suivant les lignes correspondantes l_1 et l_2. Si E_1 est à une plus grande distance de la surface de séparation que E_2, on décrit les limites de l'ébranlement, qui d'un point o de la droite l_1 se propagerait dans le second milieu, pendant

Digitized by Google

que le mouvement lumineux parcourt dans le premier milieu le chemin d.



Ces limites de l'ébranlement constituent la moitié de la surface d'onde relative au second milieu. Par la droite l_2 on mène ensuite à cette moitié autant de plans tangens qu'il est possible, et en partant de o, centre de la surface des ondes, on mène des rayons vecteurs, aux points de contact des plans tangens t^1, t_2.

Or, la lumière refractée se divise en autant de faisceaux de lumière qu'il y a de points de contact, et ces faisceaux sont limités par

Digitized by Google

des cylindres, qui ont une directrice commune, savoir : la ligne d'intersection du faisceau cylindrique de lumière incidente avec le plan de séparation, et dont les génératrices sont parallèles aux rayons de lumière ot_1, ot_2, etc. Le front d'onde de chacun de ces faisceaux est parallèle au plan tangent correspondant.

Le front de l'onde entrante peut être parallèle au plan de séparation ; nous regardons comme superflu d'indiquer les modifications que subirait dans ce cas la construction générale.

Les conséquences qui résultent de la construction ci-dessus indiquée relativement aux propriétés de la surface de l'onde, suivant laquelle, conformément à la théorie des ondulations, le mouvement se propage dans les cristaux à deux axes optiques, sont du plus haut intérêt et de la plus grande importance.

Dans la première partie de ce mémoire il sera question d'une des plus curieuses de ces conséquences.

En général, par une ligne droite donnée, on peut mener deux plans tangents à la demi-surface des ondes des cristaux à deux axes. Donc, un front d'onde de lumière ordinaire se divise en entrant dans un de ces cristaux en deux fronts d'ondes réfractés. La théorie apprend que leur lumière est polarisée dans deux plans réciproquement perpendiculaires, et on doit à MM. Airy et Biot deux théorêmes à l'aide desquels il est facile de retrouver ces plans.

Mais dans un cas particulier, le faisceau de lumière, en entrant dans le milieu cristallisé, se divise en un nombre infini de faisceaux cylindriques dont les génératrices sont parallèles aux arêtes d'un cône. Cette circonstance remarquable a lieu quand on ne peut mener à la surface des ondes qu'un seul plan tangent par la droite t_2, cas dans lequel le plan tangent est ce qu'on appelle un plan singulier.

La discussion de l'équation de la surface des ondes démontre qu'elle a quatre plans singuliers différents et qu'elle est touchée par chacun de ces plans, suivant un nombre infini de points, dont la série continue forme un cercle. Si l'on mène deux diamètres de la surface des ondes parallèlement aux axes optiques, chacun d'eux rencontrera à distances égales, de l'un et l'autre côté du centre, un plan singulier, et le rencontrera précisément à l'un des points de contact du cercle de tangence. Dans le cas spécial que nous venons de

Digitized by Google

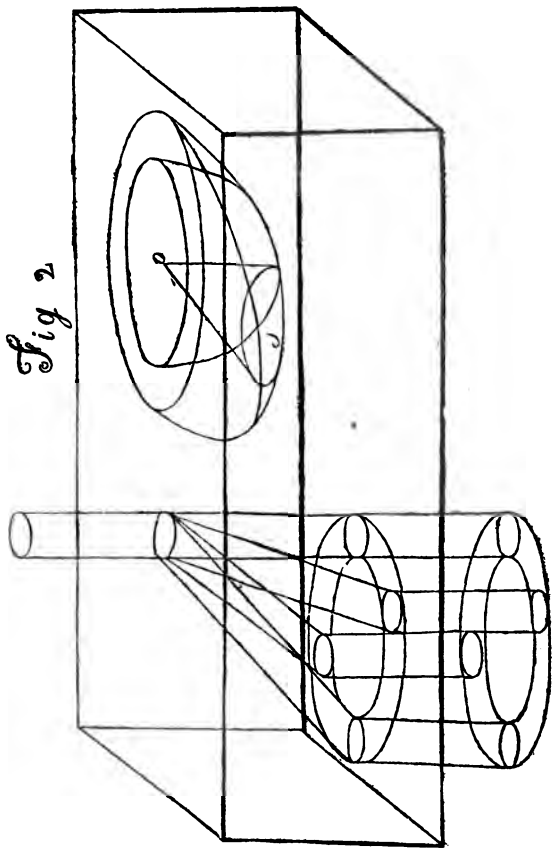
considérer, la construction précédente a pour résultat un nombre infini de rayons de lumière réfractée, dont la directrice commune coïncide avec la circonférence de la base du faisceau cylindrique de lumière incidente, et dont les génératrices sont parallèles aux arêtes d'un cône ayant son sommet en o, c'est-à-dire au centre du plan des ondes, et pour base le cercle suivant lequel la surface des ondes est touchée par le plan mené par l_2. Les fronts d'onde de tous ces faisceaux de lumière forment un même plan, et se meuvent dans la direction de l'un des axes optiques avec la même vitesse.

Il résulte de considérations théoriques que, suivant la direction des arêtes d'un des cylindres partiels, il ne se propage dans l'éther du cristal que des ondes dont les plans sont parallèles à ces arêtes et à l'axe optique correspondant. Ainsi, la ligne d'intersection d'un de ces plans, avec le plan tangent singulier, détermine la direction même des ondes.

Pour mettre plus de précision et de clarté dans notre exposition, nous supposerons que le plan de réfraction soit perpendiculaire à l'un des axes optiques, et que le faisceau de rayons incidents, dans la direction de ce même axe, ait pour enveloppe un cylindre droit ou de révolution. Le faisceau de lumière incidente se divise alors, dans l'intérieur du milieu cristallin, en un nombre infini de cylindres elliptiques, dont les axes forment un cône du second degré. Le sommet de ce cône est au centre de la base du faisceau incident; une de ses sections principales longitudinales coïncide avec le plan des axes optiques, et l'une des deux droites dont cette section se compose est normale au plan de réfraction; enfin, une des sections circulaires du cône est parallèle au plan de réfraction. Or, si le cristal est borné par un second plan parallèle au premier, il en sort normalement un nombre infini de cylindres de lumière. Les bases de ces cylindres sont des cercles égaux, leurs centres se trouvent également sur un cercle. Le rayon de ces cercles est égal à celui du faisceau incident, mais le rayon du cercle lieu des centres est à la fois fonction de la constante optique du cristal, et proportionnel à l'épaisseur de ce cristal. Suivant la valeur du rapport entre les rayons des deux sortes de cercles, les cylindres partiels sortans rempliront entièrement un seul cylindre de révolution, ou seront enveloppés par

Digitized by Google

deux cylindres droits, dont les axes coïncideront. Dans ce dernier cas, la lumière sortant du cristal éclaire l'écran, sur lequel elle



tombe perpendiculairement, fig. 2, d'un anneau circulaire compris entre deux cercles concentriques. En faisant mouvoir l'écran parallèlement à lui-même, l'anneau circulaire ne change point de dimensions.

Il reste encore à examiner de plus près le genre de polarisation de la lumière émergente.

Comme nous avons supposé que la lumière tombe perpendiculairement sur le cristal, et que les deux plans de réfraction sont perpendiculaires à l'un des axes optiques, tous les fronts d'onde qui se

Digitized by Google

propagent dans le cristal sont parallèles à ces plans, et l'élasticité est la même dans la direction de toutes les droites situées dans ces mêmes plans.

Il en résulte la conséquence rigoureuse que ni les perpendiculaires aux fronts des ondes, ni les vibrations parallèles à ces fronts, ne changent de direction à l'émergence du cristal. Donc le plan de vibration de chacun des cylindres partiels sortants est déterminé et par l'axe de ce cylindre, et par l'axe du faisceau de lumière incidente. Or, les fronts circulaires des ondes émergentes se rangent continuellement l'un à la suite de l'autre, de sorte qu'en général un nombre infini de ces fronts d'onde se superposent en chaque point éclairé par la lumière émergente. Mais chacun des fronts d'ondes a son plan de polarisation à lui : donc chaque molécule d'éther prendra le mode de vibration qui résulte de l'action de ce nombre infini de fronts d'ondes dont cette molécule fait partie. Mais si la section transversale du cylindre de lumière incidente est très-petite, de sorte que l'on n'aperçoive qu'un anneau très-délié ou un très-petit cercle de lumière, il en résultera que l'on pourra admettre, sans erreur sensible, que les vibrations de la lumière qui éclaire un certain point de ce cercle se font parallèlement à la ligne qui joint ce point avec le point qui doit sa lumière à la portion non infléchie du faisceau incident.

Les conclusions théoriques auxquelles nous sommes parvenus se manifestent dans l'expérience par les phénomènes suivants. En faisant passer la lumière, après qu'elle a traversé le cristal, par un prisme de Nicol, dont la section principale coïncide avec le plan des axes optiques, et en la faisant tomber normalement sur un écran, le point du cercle lumineux, projeté sur l'écran qui correspond au prolongement du rayon incident, est obscur. A partir de ce point, l'intensité de la lumière augmente continuellement des deux côtés, sur la circonférence de l'anneau, et atteint son maximum dans la partie diamétralement opposée au point obscur. En faisant tourner le prisme analyseur autour d'un axe perpendiculaire au plan de réfraction, le minimum et le maximum de l'intensité de la lumière s'avancent sur l'anneau, dans le sens de la rotation du prisme, et l'arc parcouru répond à un angle au centre, double de l'angle dont on a fait tourner le prisme.

Digitized by Google

L'espèce de réfraction propre aux cristaux à deux axes, que nous venons de décrire, a été signalée par M. Hamilton, son inventeur, sous le nom de la *réfraction conique intérieure*.

II. En général, dans un cristal à deux axes, deux rayons de lumière peuvent se propager dans des directions déterminées, et chacun de ces rayons a son front d'onde et son plan de polarisation à lui. Si deux de ces rayons pénètrent à travers un plan, dans un milieu doublement réfringent, ils sont réfractés dans des directions différentes. L'étude et la recherche de ces deux directions se rattachent à l'observation de la seconde espèce de réfraction conique. Nous nous proposerons donc le problème suivant : De quelle manière les rayons de lumière susceptibles de se propager dans un cristal à deux axes, parallèlement à une ligne droite donnée, sont-ils réfractés, quand ils passent, à travers une surface de séparation plane, dans un milieu isotrope ?

La solution de ce problème, également applicable dans ses conditions générales à tout milieu à un axe, cristallisé et homogène, s'obtient de la manière suivante :

Autour du point o pris sur le plan de séparation, comme centre, on décrit la surface-limite de l'ébranlement propagé dans le milieu cristallisé et correspondant à un temps quelconque T. Par o on mène, parallèlement à la direction donnée, une ligne droite D, qui rencontre les plans des ondes aux points d_1, d_2 etc., etc. Les plans tangents qui touchent la surface des ondes en ces points d_1, d_2, sont, par conséquent, parallèles aux fronts d'onde des rayons qui peuvent traverser dans la direction donnée la masse du cristal. Les plans de polarisation des rayons se déduisent des théorèmes déjà démontrés par MM. Airy et Biot, en décrivant des cylindres de révolution dont les axes coïncident avec les droites l_1, l_2, fig. 1, lignes d'intersection du plan de séparation avec les plans tangents en d_1, d_2..., et dont les rayons sont égaux aux chemins que la lumière a parcourus pendant le temps T, dans le même milieu isotrope. Menons enfin dans ce même milieu, par le point o, des plans tangents à ces cylindres, plans qui seront les fronts d'onde des rayons réfractés.

Il importe de considérer un cas exceptionnel, celui où le diamètr

Digitized by Google

D coupe la surface des ondes dans un de ses points singuliers. Il y a quatre de ces points sur la surface des ondes; ils se trouvent aux extrémités des deux diamètres, dont les directions coïncident avec ce que l'on a nommé *les axes optiques apparents*, et qui, situés dans le plan des axes optiques, forment des angles égaux avec la ligne moyenne ou avec la ligne qui divise en deux parties égales l'angle des axes optiques.

Les points singuliers de la surface des ondes sont des points multiples, par lesquels on peut mener à cette surface un nombre infini de plans tangents, lesquels, comme le calcul le démontre, forment une surface conique enveloppe, du second degré.

Désignons ce cône par K_1, et par K_2, un second cône formé par les normales menées en o, aux plans tangents correspondants aux points singuliers. Ce second cône sera également du second degré; une de ses sections longitudinales principales coïncide avec le plan des axes optiques, et l'une de ses sections circulaires est perpendiculaire à l'un des axes optiques apparents; cet axe à son tour est parallèle à l'une des arêtes du cône.

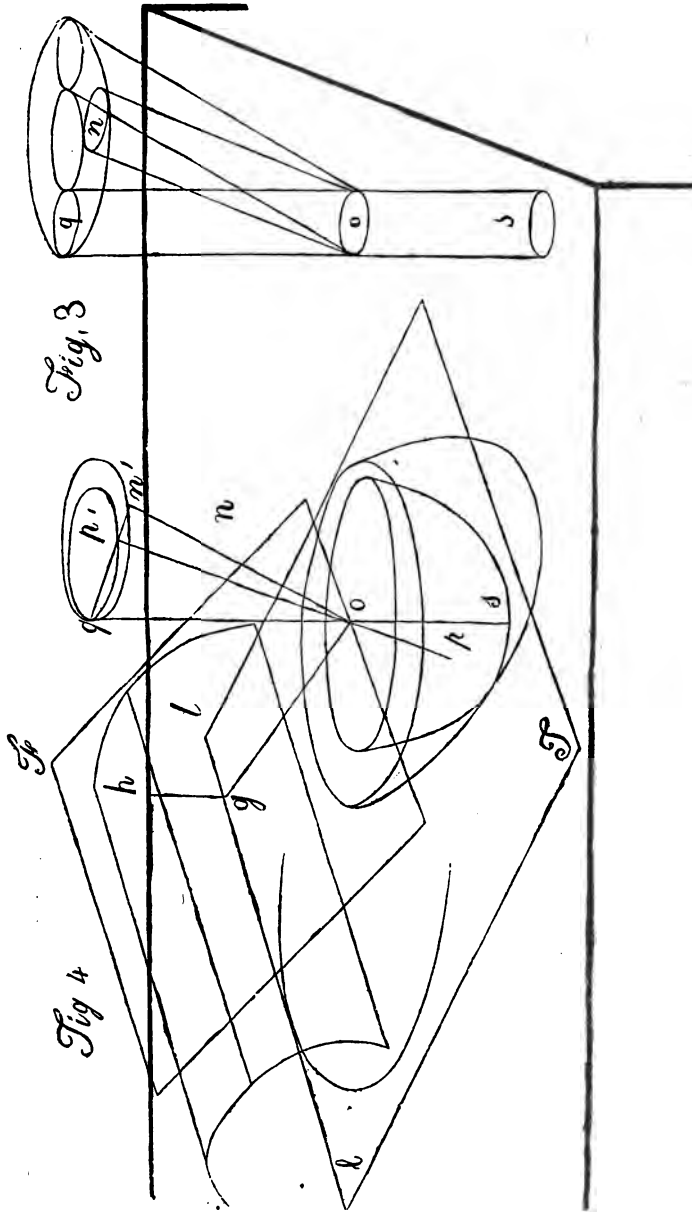
Que résulte-t-il de cet ensemble de circonstances dans le cas où tous les rayons compris dans une même surface cylindrique se meuvent dans l'intérieur du cristal à deux axes parallèlement à l'un des axes optiques apparents?

Pour rendre plus simple la solution de ce problème, nous supposerons que la surface cylindrique limite est un cylindre droit dont l'axe soit perpendiculaire au plan de séparation.

Ce dernier plan est alors coupé par les plans tangents à la surface en un point singulier suivant des lignes droites, qui touchent ou enveloppent la parabole résultant de l'intersection du cône K_1 avec la surface plane réfringente. Si l'on a recours à la construction précédente, et si après avoir trouvé les fronts des ondes sortantes, on mène par le point o des perpendiculaires à ces fronts d'ondes, ces perpendiculaires formeront une surface conique fermée.

Le sommet de ce cône se trouve en *o*, et l'une de ses arêtes est normale au plan de réfraction. Ce cône aussi est symétrique par rapport à un plan mené par *o*, parallèlement aux axes optiques, et

Digitized by Google



Digitized by Google

il diffère très-peu, dans la nature réelle des choses, d'un cône du second degré, comme nous le démontrerons tout à l'heure.

Soit T un plan tangent au point singulier s, fig. 4, $o\,p$ sa normale, et l son intersection avec le plan de réfraction. Soit encore $o\,n$ la perpendiculaire au front d'onde réfractée F, correspondant au plan T, cette perpendiculaire $o\,n$ est une des arêtes du cône en question. Menons par le point q de la normale en o à la surface de réfraction un plan perpendiculaire à cette surface, qui soit coupé en p' par le prolongement de op, et en n' par $o\,n$: les trois points q, p' et n' seront nécessairement en ligne droite. Supposons encore que l'on abaisse du point o une perpendiculaire à la ligne d'intersection l, et par le point de rencontre g de cette perpendiculaire une nouvelle normale au plan de séparation, laquelle rencontrera en h le front d'onde F, on aura :

$$q\,p' : q\,n' = o\,s : g\,h.$$

$o\,s$, c'est-à-dire, la longueur du rayon vecteur mené au point singulier, conserve une valeur constante, tandis que $g\,h$ varie d'un front d'onde à l'autre. Mais si le cône K_1 est très-obtus, et par suite K_2 très-aigu, les limites entre lesquelles varieront les différentes valeurs de $g\,h$ sont très-petites. Dans la nature, cette condition se trouve remplie, de sorte que le rapport entre $q\,p'$ et $q\,n'$ est à peu près constant. Il en résulte que, d'une part, le lieu géométrique des points p' est un cercle, et de l'autre, que les points n' se trouvent aussi, à très-peu près, sur un cercle dont le centre est dans le plan mené par $o\,q$ parallèlement aux axes optiques.

Il sort donc du cristal un nombre infini de cylindres elliptiques de lumière, dont la base commune est le cercle suivant lequel le rayon réfracté ou propagé dans le cristal rencontre le plan de séparation des deux milieux, et dont les axes forment sensiblement un cône du second degré. Dès lors, sur un écran suffisamment rapproché du plan de séparation et parallèle à ce plan, on verra apparaître un cercle entier de lumière. En éloignant l'écran, le diamètre de ce cercle augmente jusqu'à ce qu'à une certaine distance il se forme en son milieu un cercle plus petit, obscur et concentrique. On voit naître ainsi un espace annulaire éclairé. Si la distance de l'écran à la surface du milieu cristallin augmente encore, les diamètres des deux cercles

Digitized by Google

croissent proportionnellement, mais l'épaisseur de l'anneau reste la même.

Dans le cas que nous avons considéré, la normale au front des ondes, incidente et réfractée, et la perpendiculaire au plan d'incidence, se trouvent dans un seul et même plan, qui est en même temps le plan d'onde du rayon incident, et par conséquent les vibrations du rayon réfracté se font parallèlement à ce même plan.

Donc, en menant par l'axe du faisceau cylindrique de lumière incidente, et d'un second faisceau cylindrique, un plan, ce plan sera le plan de vibration du second faisceau. Mais la direction effective des vibrations d'une molécule d'éther participant au mouvement lumineux à la sortie du cristal n'est pas si facile à déterminer. Cette molécule subit l'action d'un nombre infini de fronts d'ondes qui se suivent continuellement, et dont la direction d'ondulation varie d'un front d'onde au suivant. Mais en donnant au faisceau de lumière incidente un très-petit diamètre, on peut admettre, sans différer beaucoup de la vérité, que le plan d'ondulation d'un des rayons du cône de la lumière sortante passe par le faisceau incident et par le rayon non dévié, perpendiculaire au plan de réfraction. Quand on fait passer le cône lumineux, avant de le recevoir sur l'écran, à travers une lame de tourmaline polarisante dont l'axe est parallèle au plan de réfraction, et qui se trouve dans le plan des axes optiques, alors la partie de l'anneau mince lumineux correspondante au rayon non dévié, qui se projette sur l'écran, apparaîtra sombre. Mais en faisant tourner la tourmaline dans son plan, la partie sombre de l'anneau lumineux se meut dans le sens de la rotation, de sorte que sa vitesse angulaire est le double de la vitesse de la tourmaline.

Pour obtenir tous les rayons qui peuvent traverser un cristal dans la direction d'un de ses axes optiques apparents, il faut procéder de la manière suivante. On couvre les deux faces du cristal taillé perpendiculairement à un des axes optiques apparents avec des feuilles de métal, dans chacune desquelles on pratique une petite ouverture circulaire. Ces ouvertures, qui doivent être de la même grandeur, sont placées dans une position telle que la droite qui joint leurs centres soit parallèle à l'axe optique apparent. En faisant entrer ensuite dans toutes les directions par une des premières ouvertures un rayon de

Digitized by Google

lumière, il est évident que par l'autre ouverture il ne sortira que des rayons qui ont traversé le cristal dans le sens de l'axe optique apparent. Il résulte de cela même que les fronts d'ondes de ces derniers rayons occupent alors toutes les positions possibles; et, d'après ce qui vient d'être exposé, la lumière émergente formera un cône creux lumineux qui donnera naissance aux phénomènes que nous avons essayé d'expliquer.

La seconde espèce de réfraction conique, qui vient d'être étudiée, a reçu de M. Hamilton le nom de *réfraction conique extérieure*.

Nous n'avons plus à signaler qu'une application de la double réfraction, éminemment heureuse et excellente, comme tout ce que conçoit l'esprit si élevé à la fois et si lucide de M. Arago.

ASTRONOMIE. — *Sur un micromètre oculaire à double réfraction*, par M. ARAGO.

Rochon, de l'ancienne Académie des Sciences, imagina, le premier, de faire servir la double réfraction à la détermination des très-petits angles. Il plaça un prisme de cristal de roche achromatisé *dans l'intérieur de la lunette*. A l'aide de son mouvement de translation rectiligne, depuis l'oculaire jusqu'à l'objectif, ce prisme permettait de mesurer tous les diamètres des planètes ou des étoiles, compris entre zéro et l'angle formé par les deux rayons *ordinaire* et *extraordinaire*, à leur sortie du prisme achromatique.

M. Arago a fait un long usage de cet instrument, il lui a servi dans plus de trois mille déterminations de diamètres de planètes.

Toutefois, plusieurs inconvénients s'étaient manifestés : l'achromatisme du prisme *ne pouvait être parfait pour les deux images à la fois;* avec de très-forts grossissements, ce défaut devenait intolérable; d'autre part, quand le prisme se trouvait très-près de la lentille oculaire, pour la détermination du zéro de l'échelle ou pour la mesure des plus petits angles, les moindres imperfections du cristal ou du travail des surfaces étaient considérablement grossies; enfin, pour tout dire en deux mots, il était fâcheux d'introduire dans la lunette une pièce qui en altérait inévitablement la bonté.

M. Arago remédia à cet inconvénient, il y a déjà bien des années, en plaçant le prisme à double réfraction *en dehors de la lunette*, en

Digitized by Google

l'établissant entre l'oculaire et l'œil, à l'endroit même où s'appliquent les verres colorés quand on observe le soleil. Alors la tangence des deux images s'obtenait en faisant varier le grossissement de la lunette, à l'aide d'un *changement dans la distance des deux lentilles de l'oculaire composé.*

Ce changement de distance n'était pas sans inconvénient : il fallait après chaque altération dans la position des deux lentilles se remettre au foyer. Ajoutons que, pour avoir le meilleur effet possible de l'oculaire double, il est nécessaire que les deux lentilles dont il se compose soient à une distance déterminée ; qu'en deçà et au delà de cette limite, les images perdent un peu de leur netteté ; qu'enfin, ce procédé micrométrique est sans application possible, quand on veut faire usage d'oculaires simples et de très-forts grossissements.

Dans la disposition définitive adoptée par M. Arago, toutes ces difficultés s'évanouissent. Le prisme est toujours *en dehors;* ses défauts ne sont jamais amplifiés. Le grossissement est invariable ; les plus courts oculaires simples, les oculaires biconcaves, trop négligés aujourd'hui, peuvent être employés. Des prismes un peu plus large que la pupille forment une série continue et progressive depui les plus petits écartements des rayons ordinaires et extraordinaires jusqu'aux plus grands ; ils se succèdent par des variations de 30 secondes, et même de 15 seulement, et sont fixés par série de cinq, au sein des ouvertures de pièces de cuivre, dans des *fiches* susceptibles de se mouvoir le long d'une rainure pratiquée sur la pièce qui sert à adapter tout le système au porte-oculaire d'une lunette ou d'un télescope quelconque. L'astronome n'a plus, en faisant passer la fiche devant ses yeux, qu'à chercher quel est le prisme qui lui donne deux images tangentes de l'objet qu'il observe ; il divise ensuite l'angle séparatif de ce prisme par le grossissement de la lunette.

Quelquefois un des prismes n'ayant pas assez séparé les images, le suivant les séparera trop. On n'aura donc que deux limites pour le diamètre cherché : ce sera leur moyenne qu'il faudra adopter. Voyons à combien se montera l'incertitude.

Avec des prismes se succédant par *quinzaine* de secondes, et un grossissement de 200, chaque mesure ne différera de celle que le

Digitized by Google

prisme précédent aurait donnée que de $\frac{15''}{200}$ ou de $\frac{7,5}{100}$ de seconde; l'incertitude de la moyenne n'irait guère qu'à $\frac{4}{100}$, quantité entièrement négligeable.

Cette forme du micromètre oculaire à double réfraction était nouvelle pour l'Académie, à laquelle M. Arago ne l'avait jamais présentée; mais on en fait usage à l'Observatoire depuis plusieurs années.

L'illustre secrétaire perpétuel s'est empressé de rendre pleine justice à l'habileté, vraiment remarquable, que M. Soleil a déployée dans l'exécution de la longue suite de prismes, en quelque sorte microscopiques, qui sont incrustés dans les fiches du micromètre. L'habileté devait être et elle a été effectivement accompagnée d'une grande modération dans les prix.

POLARISATION RECTILIGNE, CIRCULAIRE, ELLIPTIQUE.

Nous débuterons en reproduisant la suite des curieuses observations de M. Haidinger, sur les caractères par lesquels la lumière polarisée se distingue à l'œil nu de la lumière ordinaire. C'est une question neuve, piquante, et que nous sommes heureux d'avoir soulevée le premier.

Des houppes colorées dans la lumière polarisée, par M. HAIDINGER.

Lorsque dans notre premier volume nous avons signalé à l'attention du monde savant la brillante découverte de la présence de houppes colorées jaunes et bleues dans tout faisceau de lumière polarisée, découverte faite en 1844 par M. Haidinger, l'un des plus illustres minéralogistes du monde, ces houppes n'avaient encore été aperçues par aucun physicien ; leur existence était grandement contestée, on les regardait comme une illusion optique qui avait sa source dans l'œil malade de M. Haidinger. En vain nous avions demandé aux plus savants physiciens de l'Angleterre, de l'Allemagne, de la France, s'ils avaient aperçu ce curieux phénomène, si du moins

Digitized by Google

ils l'acceptaient de confiance : leur réponse attestait une désolante incrédulité. Mais quand, parvenu enfin jusqu'à Vienne, et initié au secret d'une observation délicate, nous eûmes vu de nos yeux ces houppes problématiques, et vérifié la vérité de toutes les assertions de notre savant ami, nous n'eûmes plus qu'un désir, et nous l'avons rempli sans rencontrer trop d'obstacles : c'était de convaincre tous les physiciens que nous rencontrions de l'existence incontestable d'un caractère certain auquel l'œil distingue la lumière polarisée de la lumière ordinaire ; caractère d'autant plus étonnant qu'il avait échappé même aux savants qui, comme Huyghens, Malus, Arago, Young, Fresnel, Biot et tant d'autres, avaient consacré de longues années à la contemplation et à l'étude de la lumière polarisée.

De retour à Paris, nous adressâmes à M. Arago une Note que nous reproduisons ici en partie :

« Tant qu'un grand fait scientifique n'a pas reçu la sanction de l'Académie des Sciences, il ne s'impose pas au monde savant ; son importance reste plus ou moins méconnue. Tel est le motif qui a fait désirer vivement à M. Haidinger, le célèbre minéralogiste et cristallographe de Vienne, de vous voir constater bientôt devant l'illustre corps dont vous êtes l'un des secrétaires la présence si curieuse des houppes colorées dans tout faisceau de lumière polarisée. Vous avez répété ses expériences, vous avez constaté la réalité des beaux phénomènes qu'il a décrits ; ses recherches se lient d'ailleurs entièrement aux vôtres ; mieux que personne, par conséquent, vous pourrez faire ressortir ce qu'elles offrent de remarquable et d'inattendu.

» Les mots faisceau, aigrette, houppe, ne disent pas assez, ne sont pas suffisamment exacts. Voici comment on peut mieux se représenter cette singulière apparition : prenons de petites branches d'osier d'un jaune orangé pâle, assemblons-les en grand nombre, et serrons-les fortement par leurs milieux : cet ensemble dessinera, le plus parfaitement possible, le faisceau jaune dont nous avons déjà tant parlé. A droite et à gauche du milieu plus resserré du faisceau, concevons deux petits amas de lumière violette : le phénomène auquel donne naissance la lumière polarisée sera alors complétement représenté.

» M. Haidinger a répété pour moi toutes ses expériences, et partout j'ai vu les mêmes apparences que lui : je n'en décrirai ici qu'une

Digitized by Google

seule. La lumière qui venait par une des fenêtres de la grande salle de géologie était polarisée par son incidence sur l'une des devantures en verre des armoires. Cette devanture était un peu inclinée sur le plan vertical des murs. Nous regardions à travers une grande plaque de mica la lumière polarisée dans les vitres, puis nous faisions tourner la plaque par sauts un peu brusques : aussitôt les houppes orangées et violettes apparaissaient avec un éclat très-vif : c'était vraiment un phénomène magnifique. Tout le monde comprendra le rôle que jouait ici la lame de mica : en faisant tourner le plan de polarisation, elle rendait les houppes mobiles, et le mouvement les détachait si bien du milieu environnant, qu'elles sautaient aux yeux.

» Quand on les voyait très-vives, et qu'on les fixait longtemps, elles s'éteignaient peu à peu ; mais en retirant la lame de mica, on voyait apparaître un nouveau faisceau jaune dont la position ne varie jamais, qu'un œil exercé voit directement sans le secours de la lame de mica, et qui est la trace du plan de polarisation.

» Voici le procédé que l'on peut suivre pour voir les houppes avec tout leur éclat dans le ciel bleu. On fixe d'abord un point situé dans un grand cercle passant par le soleil, puis on ferme les yeux pour les reporter immédiatement après sur un point placé dans un grand cercle perpendiculaire au premier. Quand on a répété deux ou trois fois cette manœuvre, l'impression du faisceau orangé et violet est devenue si intense, que je dirais qu'elle crève les yeux, si j'osais recourir à une expression trop familière. On peut encore se contenter de fixer le même point du ciel, pourvu que l'on incline rapidement la tête, tantôt à droite, tantôt à gauche.

» Mais que sont donc ces faisceaux colorés qui caractérisent si nettement la lumière polarisée ?

» Je crois avoir fait un pas de plus dans cette difficile explication ; je soumets, en toute humilité, mon observation au jugement des physiciens éminents. La couleur invariable de la houppe jaune m'a vivement frappé ; j'ai cru et je crois encore y retrouver celle qui, dans le spectre, correspond, d'après les expériences de Fraunhofer, au maximum d'intensité : le faisceau violet a bien la teinte correspondante à l'intensité minimum. Voici donc quel serait l'effet ou l'essence de la polarisation : quand, par la réflexion ou la réfraction sous

Digitized by Google

certains angles, quand par l'action de certaines absorptions, etc., le rayon de lumière blanche, de cylindrique qu'il était, est devenu plan, l'œil percevrait, immédiatement, d'abord le rayon composant dont l'intensité est plus grande, puis, par contraste, le rayon d'intensité minimum.

» Ce qui donne un nouveau degré de probabilité à cette manière de voir, très-simple en elle-même, c'est que, quand on fixe longtemps les houppes, tout phénomène de coloration disparaît, la lumière polarisée reparaît blanche. Cette particularité tient évidemment, il me semble, à ce que l'impression plus prompte et plus vive, produite d'abord par le rayon d'intensité maximum, est contrebalancée plus tard par l'action plus lentement exercée, mais réelle, des autres rayons.

» M. Haidinger a toujours pensé que l'apparition des houppes fixe d'une manière non douteuse la position du plan de polarisation par rapport aux vibrations moléculaires. En effet, l'axe de la houppe jaune est, dans tous les cas, la trace du plan de polarisation ; et, puisque le phénomène de coloration s'étend à droite et à gauche de ce plan, il me semble impossible de ne pas admettre que les vibrations moléculaires sont perpendiculaires au plan de polarisation, comme le voulait Fresnel, et comme l'affirme aujourd'hui M. Cauchy contre MM. Neumann, Mac-Cullagh, Broch, Babinet, etc.

» J'oserais presque dire, en terminant, que l'appareil où les houppes apparaissent le mieux est votre polariscope. Quand on regarde à travers cet instrument un ciel uniforme gris ou sombre, et que ce ciel n'offre aucune trace de polarisation, on voit immédiatement que les deux images rondes, au lieu d'être d'une couleur uniforme, sont partagées chacune par deux larges bandes jaunes et violettes, qui en occupent à peu près le quart. Les deux bandes parallèles à la ligne qui joint les centres des deux cercles, et qui sont, l'une jaune, l'autre violette, puisque les deux rayons sont polarisés à angle droit, se font ressortir l'une l'autre ; le caractère distinctif de la lumière polarisée devient ainsi très-saillant. »

Peu de temps après l'apparition de notre Note, monsieur Silberman aîné essaya une nouvelle explication du phénomène des houppes. Partant de ce fait que dans les verres trempés ou chauffés, ainsi que dans l'agathe striée, éclairés par de la lumière polarisée transmise,

Digitized by Google

la teinte qui apparaît la première est la teinte jaune-paille de la houppe principale, il voulait que l'œil remplaçât le verre chauffé et l'agathe, et que le phénomène des houppes eût pour cause les stries qui, dans le cristallin, partent du centre ou d'un axe central, en rayonnant tout autour de cet axe. Voici la théorie de M. Silberman :

1° La cornée transparente, la portion antérieure du cristallin, comme sa masse tout entière, jouissent de la structure doublement réfringente, et sont susceptibles de donner les couleurs ordinaires de la polarisation chromatique ;

2° La structure fibreuse rayonnée du cristallin nous offre un analyseur dont l'action doit s'exercer dans tous les sens possibles, tout en laissant au centre un espace neutre, où la lumière du champ ne sera point analysée, et où, par suite, elle restera incolore ;

3° Il est possible que la structure également rayonnante, cloisonnée et fibreuse, de l'humeur vitrée, agisse de même que la structure du cristallin ;

4° En admettant ces hypothèses, on conçoit comme nécessaire l'apparition de deux houppes colorées quand l'œil est dirigé vers un champ suffisamment polarisé, avec des teintes complémentaires dans la direction rectangulaire, et enfin la persistance du phénomène, dans quelque azimut que l'on tourne le plan de polarisation.

Disons-le franchement, cette explication n'expliquait rien, elle n'était en elle-même, et par rapport au phénomène en question, qu'une vague, qu'une très-vague analogie. M. Silberman ne rendait pas raison même des circonstances essentielles de l'apparition, pas même de ce fait que l'axe de la houppe jaune était constamment la trace du plan de polarisation. Désireux de mettre le plus tôt possible en évidence l'insuffisance de cette théorie improvisée, nous priâmes un oculiste habile, M. Zokalski, de s'assurer que des yeux privés de cristallin, soit par l'opération de la cataracte, soit par quelque blessure accidentelle, avaient cependant la sensation des houppes dans la lumière polarisée. Après quelques jours, en effet, M. Zokalski nous apporta quatre observations faites sur des personnes intelligentes, au nombre desquelles se trouvait un élève en pharmacie, d'où il résultait très-clairement que la présence du cristallin n'est, en aucune manière, nécessaire à l'apparition des houppes.

Battu sous le rapport de l'importance qu'il attachait à la structure

Digitized by Google

fibreuse radiée du cristallin, et prévenu du résultat des observations que nous avions sollicitées, M. Silberman a adressé à l'Académie une seconde Note dans laquelle nous remarquons ce passage :

« On peut prédire ce que doivent voir les personnes opérées de la cataracte.

» 1° Celles qui ont été opérées par extraction verront les houppes, si les membranes striées qui sont dans l'humeur vitrée polarisent assez énergiquement encore ;

» 2° Celles qui auraient été opérées par abaissement, si le cristallin laissait traverser de la lumière au passage de l'axe optique, verraient une teinte jaune, le plan de polarisation étant supposé parallèle aux stries du cristallin, et une tache violette dans le cas de la perpendicularité, sauf l'effet des membranes précédentes. »

Il nous semble que M. Silberman a écrit pour écrire, et sans attacher un grand sens aux mots dont il se servait. Dans l'opération par abaissement, le cristallin est aussi anéanti ou aussi étranger à la vision que dans l'opération par ablation ; il est extrait dans un cas, il est refoulé et absorbé dans l'autre : comment, dès lors, M. Silberman le laisse-t-il en place sur la direction de l'axe optique ? C'est à n'y rien comprendre. De plus, admettre que l'œil est un appareil de polarisation au lieu d'être un simple appareil de vision, c'est changer toutes les bases de l'optique, dénaturer tous les phénomènes, etc. Heureusement qu'il n'en est pas ainsi, l'œil seul ne suffit pas à faire disparaître ou apparaître des rayons primitivement polarisés dans un plan ou dans un autre, etc. Nous repoussons donc de toutes nos forces la première et la seconde Note de M. Silberman, qui font ombre dans les comptes-rendus et qui ont été reproduites sans assez d'examen par les principaux recueils scientifiques.

Sans doute que l'œil joue un rôle important dans le phénomène des houppes, ce n'est pas heureusement un rôle perturbateur, et avant d'être subjectif, comme le veut M. Silberman, le phénomène des houppes a, hors de l'œil, une réalité certaine.

La Note suivante de M. Jamin, bien plus fondée et bien plus nette, jettera déjà un certain jour sur ces apparences délicates.

Sur les houppes colorées de Haidinger, par M. JAMIN.

« M. Moigno ayant bien voulu m'engager à examiner expérimen-

Digitized by Google

talement les houppes colorées découvertes par Haidinger, j'ai fait, avec ses conseils, quelques observations qui lui ont paru jeter du jour sur ce phénomène. Je vais soumettre à l'Académie les principaux résultats que j'ai obtenus :

» Quand on fait tomber un faisceau de lumière polarisée sur une pile de glaces inclinées, la proportion du rayon réfracté varie avec l'azimut de polarisation ; elle atteint un minimum quand les plans d'incidence et de polarisation sont parallèles, et un maximum quand ils sont perpendiculaires. Les variations d'intensité sont d'ailleurs nulles quand l'incidence est normale ; elles deviennent de plus en plus sensibles quand l'incidence augmente jusqu'à l'angle de polarisation.

» Toutes ces circonstances seront réalisées dans un seul coup d'œil, si on forme une pile de lentilles concaves ou convexes, centrées sur un même axe, et si on les fait traverser par un faisceau de lumière polarisée parallèle à cet axe. Chaque section principale de l'appareil contiendra les plans d'incidence des rayons sur chaque surface ; et, par conséquent, dans la section qui coïncide avec le plan de polarisation, il y aura un minimum de lumière réfractée, et un maximum dans la section perpendiculaire. Le rayon qui suivra la direction de l'axe rencontrera normalement toutes les surfaces, et se réfractera en quantité égale, quel que soit l'azimut de polarisation.

» Le faisceau réfracté offrira donc, dans le plan de polarisation, deux aigrettes obscures, réunies au centre par leur sommet, s'élargissant vers la circonférence, et deux aigrettes brillantes d'une forme semblable dans le plan perpendiculaire.

» Les conditions de cet appareil sont naturellement réalisées dans la constitution de l'œil : la cornée, qui est une première surface courbe ; le cristallin, qui offre une superposition de lentilles de densités différentes, devront nécessairement produire les effets qui viennent d'être décrits.

» L'analogie de ces résultats avec les apparences des houppes de Haidinger est manifeste ; nous la compléterons par quelques résultats de calcul. Si nous ne tenons compte que de l'effet de la cornée, en faisant abstraction du cristallin, qui doit concourir aux mêmes effets et avec une énergie plus grande, nous trouvons, pour les intensités réfractées des rayons polarisés sous les azimuts 0 et 90 de-

Digitized by Google

grés, les nombres 0,9758 et 9836 pour une incidence de 20 degrés avec la normale; et 0,9732, 0,9857, quand l'incidence est de 25 degrés. Le rapport de la différence à la demi-somme est approximativement $\frac{1}{120}$ pour le premier cas, et $\frac{1}{60}$ pour le second : il est donc probable qu'un œil, même dépourvu de cristallin, pourrait apercevoir les houppes.

» Les divers rayons du spectre ayant des indices de réfraction différents, les intensités des rayons réfractés seront inégales pour les diverses couleurs, et les houppes devront avoir une teinte propre que l'on peut calculer. Cette teinte est représentée, dans le cercle chromatique de Newton, par l'angle 104°,30 ; et, comme le jaune est compris entre 94 degrés et 148 degrés, la couleur des houppes sera jaune. Dans le plan perpendiculaire au plan de polarisation, j'ai trouvé une teinte qui ne diffère pas du blanc, mais qui pourra, par l'effet du contraste, prendre la teinte complémentaire du jaune.

» Quoique ces conséquences découlent nécessairement de la forme de la cornée et des propriétés de la lumière polarisée, j'ai cru devoir les confirmer par des expériences directes.

» J'ai fait disposer un système de lentilles alternativement concaves et convexes, que la lumière traverse sans déviations; il présente des houppes très-obscures et parfaitement nettes, quand on le place devant l'œil et qu'on le fait traverser par un rayon polarisé.

» Si l'on place avant l'appareil une lame mince cristallisée, dont l'axe est incliné de 45 degrés sur le plan de polarisation, les houppes sont colorées des deux teintes complémentaires de la lame mince; et si on la remplace par un quartz perpendiculaire à l'axe, les houppes des divers rayons simples se dévient et s'étalent comme leurs plans de polarisation. »

Il nous semble impossible de rien ajouter à cette explication des houppes en tant que phénomène subjectif; mais il importe grandement de rétablir certaines notions fondamentales trop facilement oubliées, et qui auraient dû hâter la belle découverte de M. Haidinger. Nous laisserons parler M. Herschel; si le passage que nous empruntons à son livre avait été mieux compris, il y a longtemps que nous aurions appris à distinguer, à l'œil nu, la lumière polarisée de la lumière naturelle.

Digitized by Google

« Il suit de la loi de Brewster, suivant laquelle la tangente de l'angle de polarisation d'un milieu quelconque est égale à l'indice de réfraction de ce milieu, qu'un milieu *ne doit point polariser tous les rayons colorés sous la même incidence, et que par conséquent l'évanouissement du rayon réfléchi* ne saurait être total, à moins que la lumière incidente ne soit homogène... Il est aisé de s'assurer de ce fait, au moyen d'une expérience bien simple que nous avons souvent répétée. On reçoit un rayon solaire sur un verre plan dépoli, et noirci d'un côté, sous une incidence presque égale à l'angle de polarisation ; puis on le fait passer dans une chambre obscure où il tombe sur un verre semblable au précédent. On tient ce verre à la main, de manière à ce qu'il réfléchisse le rayon dans un plan perpendiculaire à celui de la première réflexion, et sous un angle à peu près égal à l'angle de polarisation du second verre. On trouve facilement une position telle que le rayon réfléchi reçu sur un écran blanc soit extrêmement faible ; mais aucune valeur donnée aux angles de réflexion ne peut déterminer sa disparition totale. Lorsqu'il est aussi éteint qu'il est possible, la lumière réfléchie est d'un pourpre indécis ; le jaune, c'est-à-dire la couleur la plus lumineuse, ayant disparu tout à fait. Dans cette position, si, le premier angle de réflexion restant constant, on fait varier un peu le second angle, ou l'angle de réflexion sur le second verre des deux côtés du plan de polarisation, le rayon réfléchi prendra une belle couleur bleue verdâtre, dans le premier cas, et rouge améthiste dans le second. »

Remarquons qu'il résulte évidemment du contexte de ce passage que la couleur pourpre indécis de M. Herschel est la couleur complémentaire du jaune, ou le violet grisâtre de M. Haidinger et des houppes. Le savant astronome ajoute :

« L'angle de polarisation, dans le cas de la lumière blanche, n'est autre chose que l'angle de polarisation des rayons les plus lumineux, c'est-à-dire des rayons jaunes moyens. Lorsque les deux réflexions ont lieu sous cet angle dans des plans réciproquement perpendiculaires, les rayons jaunes échappent seuls à la réflexion, tandis qu'une petite partie des extrémités rouges et bleues du spectre se réfléchit pour former la légère teinte pourpre dont nous avons parlé plus haut..... »

Ce passage est très-significatif, et l'on a eu tort d'oublier que, par

Digitized by Google

une suite nécessaire de la loi de Brewster, l'acte de la polarisation donne lieu à une dispersion réelle, à une séparation de couleur. Il prouve jusqu'à l'évidence, et par le raisonnement et par l'observation, que sur un fond de lumière blanchâtre polarisée, l'œil doit voir d'abord un faisceau de lumière jaune correspondant au rayon d'intensité maximum, puis un amas de lumière violette, due à la polarisation incomplète des autres rayons; c'est là le fondement essentiel et objectif du phénomène des houppes colorées. Et comme la théorie et l'expérience de M. Jamin donnent complétement raison de la manière dont ces deux faisceaux doivent être perçus par l'œil en raison de sa conformation, il en résulte que le phénomène est aussi bien expliqué qu'il peut l'être, sans que l'on soit obligé de recourir à la structure fibreuse radiée de M. Silberman.

M. Haidinger a publié, dans les annales de Poggendorff, deux nouveaux mémoires pleins d'observations curieuses sur les houppes; ils sont quelque peu diffus et très-obscurs, nous les reproduirons cependant intégralement, parce qu'il s'agit de phénomènes nouveaux, peu étudiés encore, et qui méritent au plus haut degré l'attention des physiciens.

Observations des houppes colorées dans la lumière rectilignement polarisée, par M. HAIDINGER.

I. — *Houppes du ciel bleu.* — On sait que la voûte bleue du ciel surabonde de lumière polarisée. Le plan de polarisation en chaque point que l'on considère passe par le soleil, de sorte que tous les plans de polarisation sont des grands cercles qui se coupent suivant la droite qui joint le soleil à la terre.

Si l'on se place, le dos tourné au soleil, pour ne pas être ébloui par sa lumière, et que l'on regarde rapidement une portion déterminée du ciel bleu, après avoir auparavant saturé son œil de lumière homogène, ce qui rend l'expérience plus facile, on percevra bientôt l'impression d'une lumière jaune vague qui devient de moins en moins apparente et se confond d'autant plus avec le bleu environnant que l'œil a fixé plus longtemps le point choisi du ciel. Si, à la droite du grand cercle vertical, on regarde un point situé, par exemple, à 45 degrés de ce plan, et que l'on reporte rapidement l'œil sur le point

Digitized by Google

semblablement placé à la gauche, la rétine, par le regard prolongé vers la droite, n'aperçoit plus peut-être encore distinctement la houppe

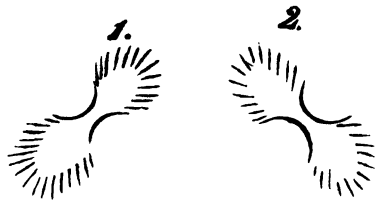


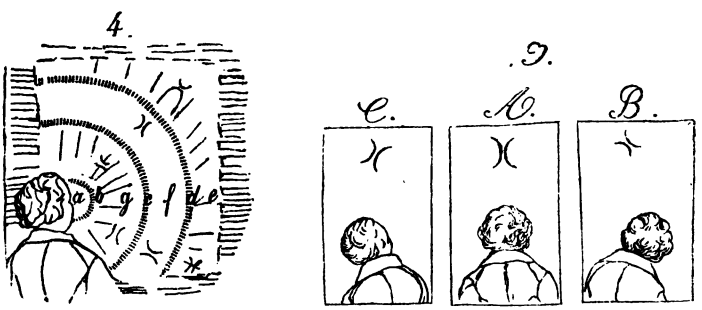
fig. 1 ; mais ainsi excitée elle sera mieux disposée à voir, dans la portion du ciel située à gauche, la houppe fig. 2, inclinée en sens contraire avec l'espace bleu qui l'accompagne et qui est bleu moins sombre que le ciel environnant. Il faut d'abord tourner le regard rapidement, puis regarder fixement le point où doit apparaître la houppe. L'image qu'on avait vue très-distinctement en commençant se perd aussi bientôt dans le fond bleu uniforme qui l'environne de toutes parts. Quand ses dernières traces ont disparu, on retrouve facilement en se retournant vers la droite une nouvelle houppe plus vive ; et après quelqnes essais de ce genre on reconnaît bientôt qu'il suffit de se tourner vers un point quelconque du ciel où la lumière est polarisée, pour y trouver des houppes. Quand on tourne le dos directement au soleil, on voit devant soi la houppe jaune verticale. Ce n'est pas seulement le ciel parfaitement bleu, mais encore les portions couvertes de vapeurs blanches uniformes, et les nuages blancs éclairés, qui montrent les houppes, et sont par conséquent polarisés, quoique dans un moindre degré que le ciel bleu. Vers le coucher du soleil, lorsque le soleil est déjà assez bas, l'observation réussit mieux.

Les houppes situées presque horizontalement à droite et à gauche du vertical Est-Ouest contrastent et ressortent davantage. Souvent, en faisant parcourir à l'œil un grand cercle dont le point du ciel opposé au soleil était le centre, on voit nettement une série de houppes qui se succèdent en changeant d'inclinaison et forment comme une chaîne ou série continue. On voit aussi les houppes très-belles et très-vives au zénith : pour cela on tourne le dos au soleil, on regarde fixement le zénith et, sans le perdre de vue, on tourne le corps tout entier de 45° à droite, puis de 45° à gauche, etc. La houppe demeure fixe dans la direction du plan de polarisation qui passe par le soleil,

Digitized by Google

et l'œil excité par cette première impression verticale est mieux disposé à percevoir une impression horizontale, qu'il reçoit très-facilement. Dans cette manière d'observer, le phénomène est si brillant, qu'on éprouve presque la sensation d'un trou fait dans le ciel serein.

Si l'on fixe un point quelconque du ciel bleu et qu'on incline la tête tantôt à droite, tantôt à gauche, sans détourner le regard du point du ciel dont il s'agit, le contraste de la houppe jaune avec l'espace bleu pur qui l'entoure la rendra très-visible. Ces mouvements de tête sont un peu incommodes, et on trouvera peut-être plus simple d'incliner vers la droite et vers la gauche toute la partie supérieure du corps. On peut faire de cette manière une observation singulière. On contemple d'abord une houppe verticale A, fig. 3, située dans le plan vertical qui passe par l'œil et le soleil, en supposant la tête droite comme à l'ordinaire, puis on incline rapidement la tête à droite : la houppe n'est plus alors verticale, mais un peu inclinée à gauche. En inclinant au contraire la tête vers la gauche, la houppe sera inclinée vers la droite. Cette déviation du phénomène hors du plan de polarisation provient de ce que la rétine, excitée par l'observation de la houppe verticale, est mieux disposée à voir avec netteté l'image d'une houppe jaune horizontale qui se détache sur l'espace bleu environnant. On incline rapidement la tête de 45 degrés, cet angle est celui qui convient le mieux pour que l'impression produite sur l'œil soit très-vive ; mais l'atmosphère est polarisée perpendiculairement, le phénomène doit donc apparaître dans une position intermédiaire. Les houppes B et C forment entre elles un angle sensiblement égal à 45 degrés ;



chacune d'elles est donc inclinée de 22° et demi sur la houppe A. Si l'on incline la tête très-lentement, la houppe conserve sa position verticale.

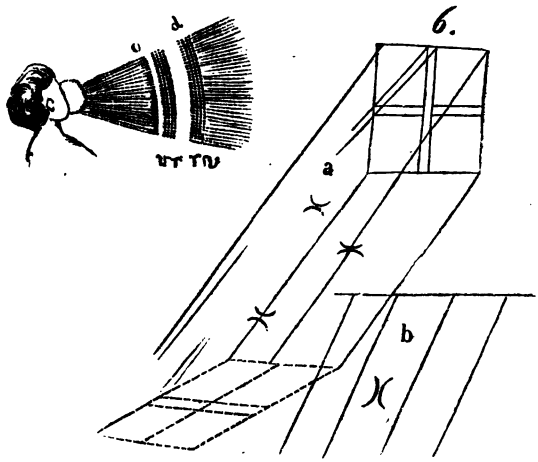
Digitized by Google

parce que l'impression de la première image s'est effacée avant que la seconde naisse. Cette inclinaison rapide en sens tour à tour opposés de la tête pendant qu'on contemple un point bleu du ciel est un moyen très-sûr pour apercevoir les houppes.

Si l'on considère des houppes horizontales ou diversement inclinées, et qu'on incline brusquement la tête à droite ou à gauche, la houppe en même temps s'inclinera de l'angle assigné ci-dessus de 22° et demi, et en sens contraire. Cette observation réussit toujours très-bien, non-seulement avec la lumière polarisée du ciel bleu, mais encore avec toute autre lumière polarisée.

II. — *Houppes dans la vapeur d'eau.* — On a souvent observé des arcs nuageux qui avaient sensiblement le même diamètre apparent que les arcs-en-ciel. MM. Biot et Brewster ont reconnu que la lumière de l'arc-en-ciel est polarisée : c'est ce qui doit être, d'après l'explication connue qui attribue l'arc intérieur à une première réflexion totale du rayon solaire à l'intérieur de la goutte d'eau, et l'arc extérieur à une double réflexion totale intérieure.

M. Haidinger a eu l'occasion d'observer des arcs de vapeur dans la chambre à vapeur des bains de Ste-Sophie, à Vienne. Le soleil, vers 7 heures du matin, peu élevé, par conséquent, au-dessus de l'horizon, éclairait les vapeurs à travers la fenêtre : il apercevait alors



un très bel arc, dont l'ombre de sa tête occupait le centre. La cou-

Digitized by Google

leur de l'arc *f*, fig. 4, était un bleu blanchâtre pâle, et l'espace compris entre *c* et *d* était teint en jaune faible. L'espace *e* en dehors de l'arc et l'espace *g* en dedans étaient moins brillants, gris, tirant un peu sur le rouge.

En face de l'œil, si les rayons du soleil arrivaient en ligne droite, on voyait un espace bleuâtre très-clair, entouré de jaune faible. La lumière, à partir de *b*, était signalée par les houppes comme évidemment polarisée. Il suffisait pour les voir de porter d'abord les yeux sur un point situé dans l'arc, ou en dehors, ou dans l'intérieur de l'arc, et de regarder ensuite fixement un autre point quelconque. Elles apparaissaient radialement dans l'arc, tangentiellement en dehors ou en dedans. La lumière de l'arc est polarisée, suivant les grands cercles qui passent par le soleil, par la réflexion sur la surface extérieure des molécules de vapeur ou d'eau. Dans l'espace situé en deçà ou au delà de l'arc, la lumière, au contraire, est polarisée dans une direction perpendiculaire et par conséquent par transmission.

Les couleurs blanc-bleuâtre, rougeâtre et jaunâtre, sont des mélanges délicats, des teintes prismatiques bleues et rouges correspondantes à l'angle-limite, modifiées par la lumière plus ou moins forte que répandent les particules d'eau qui flottent dans l'air.

On connaît le moyen de produire des arcs-en-ciel en chassant brusquement de la bouche l'eau qui la remplissait et la forçant ainsi de se diviser en parties très-fines. Ce moyen a servi bien mieux que tous les autres procédés difficiles à appliquer dans une salle de bains, pour trouver le diamètre des arcs nuageux. Pendant qu'on voyait encore distinctement l'arc nuageux, fig. 5, le premier arc-en-ciel intérieur apparaissait très-nettement vers le milieu de l'arc nuageux. L'arc-en-ciel extérieur, dont on ne voyait que quelques traces, était situé en dehors de l'arc nuageux. En partant des dimensions connues du rayon du rouge de l'arc intérieur, 42° 2′, de sa largeur, 1° 45′; du rayon du rouge de l'arc extérieur 50° 58′, de sa largeur 3° 10′; enfin, de la distance 8° 15′, entre les deux arcs intérieur et extérieur, on pouvait estimer la largeur de l'arc nuageux. Elle était à peu près de 12°, et le rayon de sa partie moyenne était sensiblement égal à 41°.

Lorsque l'air rempli de vapeur était éclairé par le soleil, fig. 6,

Digitized by Google

qui dardait obliquement ses rayons à travers la fenêtre, on observait dans la vapeur *a* les houppes transversales propres à la lumière polarisée par transmission, pendant que sur le sol humide éclairé *b* on voyait distinctement les houppes verticales de la lumière polarisée par réflexion.

On peut faire une observation analogue lorsque l'atmosphère est envahie par le brouillard : on voit alors auprès du soleil les houppes tangentielles transversales de la polarisation par transmission ; mais, pour les observer, il faut que le soleil lui-même soit un peu caché par un édifice.

III. — *Houppes à la surface des miroirs.* — L'observation des houppes dans la lumière polarisée par des glaces noires, par les carreaux des vitres, par les surfaces des meubles polis, les tables particulièrement, par le sol ciré, a été déjà l'objet d'une communication antérieure.

On voit très-distinctement les houppes à la surface lisse d'une eau tranquille ou du moins peu agitée, surtout si la lumière non polarisée d'un ciel gris s'y réfléchit. Elles deviendront encore beaucoup plus sensibles, si on emploie la méthode indiquée d'exciter la rétine par l'action de houppes perpendiculaires. Un autre mode très-simple d'observation consiste à se placer devant la toiture vitrée d'une serre, et à chercher vers la droite et vers la gauche les houppes contrastantes produites par la partie du ciel qui se réfléchit dans le verre.

IV. — *Renforcement de l'impression par l'excitation de la rétine.* — On a vu par ce qui précède qu'il fallait, pour mieux observer les houppes, préparer, par l'impression d'une première houppe, la rétine à la perception d'une autre plus forte.

On peut mettre en évidence, dans sa forme la plus simple, cette proprieté, en regardant sur une surface uniforme la lumière non polarisée sous l'impression antécédente d'une houppe distincte. Alors même on a la sensation de la houppe complémentaire. Ce phénomène se produit très-bien quand on regarde un papier blanc à travers une andalousite ou une tourmaline d'un jaune pâle. En admettant que l'on a regardé une houppe verticale dans l'andalousite dont l'axe de cristallisation est vertical, ou dans la tourmaline dont l'axe est horizontal, assez longtemps pour qu'on n'aperçoive plus aucune

Digitized by Google

trace et qu'on éloigne brusquement l'andalousite ou la tourmaline sans changer la direction du regard, on voit apparaître aussitôt sur le papier blanc la houppe horizontale produite subjectivement par le contraste des couleurs.

On ne peut faire naître aucun contraste, si l'on regarde une surface de lumière polarisée rectilignement, à travers un appareil qui donne lui-même de la polarisation rectiligne, alors même que cet appareil donnerait de la lumière transmise parfaitement blanche comme le prisme de Nicol, ou même de la lumière réfléchie, comme celle donnée par le miroir oculaire formé d'une glace noire et d'un miroir étamé ; parce que, dans les positions parallèles des houppes, l'œil reçoit un maximum de lumière, et un minimum au contraire dans les positions croisées ; et que, par conséquent, le contraste de l'éclairement, tour à tour intense et faible, l'emporte sur le contraste des houppes. Il en sera tout autrement, si l'on se sert d'une plaque de cristal à un ou à deux axes, qui transmette de la lumière polarisée dans deux directions perpendiculaires, une plaque mince de mica, par exemple. Si l'on interpose une semblable lamelle entre l'œil et la houppe de la surface polarisée rectilignement, cette houppe, à chaque mouvement rotatoire azimutal de la lamelle, tournera avec une vitesse extrême, de sorte qu'on la verra tour à tour successivement dans tous les azimuts possibles. Si maintenant l'on regarde fixement dans une direction déterminée pendant que la houppe a sur le mica une position perpendiculaire à sa position primitive sur la surface polarisée, puis que l'on éloigne rapidement le mica, la houppe primitive redevient visible sur la surface avec un éclat manifestement rehaussé par l'effet du contraste. On peut s'assurer que c'est un pur effet de contraste, en excitant d'abord la rétine sur la plaque de mica au moyen de houppes qui ne soient pas exactement perpendiculaires à la houppe primitive : celle-ci, en dernier résultat, demeure toujours dans sa position fixe. Si l'œil a été excité par une houppe inclinée à 45 degrés sur la position primitive de la surface polarisée, et qu'on éloigne brusquement le mica, une observation attentive montrera que pendant un instant la houppe est inclinée en sens contraire d'un angle moitié ou égal à 22 degrés et demi, mais qu'elle reprend sa position normale aussitôt que l'effet de l'impression complémentaire a cessé.

Digitized by Google

Si l'on veut apercevoir au premier regard les houppes dans la lumière polarisée, on fera bien de soustraire d'abord la rétine aux impressions antécédentes, en regardant pendant longtemps une surface de lumière non polarisée, par exemple, une feuille de papier blanc.

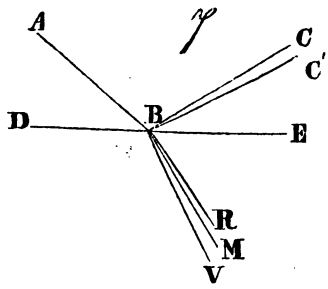
Il ne peut rester aucun doute sur les impressions produites sur la rétine : elles sont la conséquence de la nature de la lumière, et particulièrement des vibrations transversales des molécules d'éther. Elles se manifestent d'abord par leur action sur la rétine absolument comme les autres apparences lumineuses : chaque œil voit son spectre à travers le prisme, son arc-en-ciel, ses lignes d'interférence, ses anneaux colorés dans la direction de l'axe des milieux doublement réfringents. Ces phénomènes conservent leur nature subjective jusqu'à ce qu'ils soient projetés sur un écran. C'est ainsi que les houppes se sont d'abord montrées sur la rétine. On n'a pas encore essayé de les rendre visibles sur un écran : cette expérience cependant offrirait de l'intérêt sous plusieurs points de vue, parce que les houppes et les espaces doivent différer par plusieurs propriétés, comme ils diffèrent par leur couleurs.

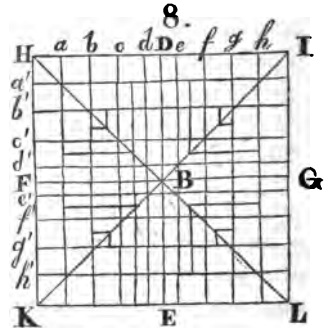
V.—*Couleurs des houppes et espaces.*— Il y a souvent une grande distance à parcourir, tant sous le rapport du temps que du travail, pour passer de l'observation à une explication fondée sur une théorie complète ; mais la constitution physique du phénomène est déjà un pas important vers son intelligence parfaite.

M. l'abbé Moigno a vu dans le jaune des houppes la couleur qui, d'après les expériences de Fraunhofer, possédait le maximum d'intensité. C'est le point M, situé à la limite du jaune et de l'orangé. M. le conseiller d'État Von Ettingshausen, avec lequel M. Haidinger s'est souvent entretenu de ce remarquable phénomène, a mis en avant, pour arriver à l'explication physique de ce changement de couleur, ce principe qu'il fallait tenir compte de la réfrangibilité différente des divers rayons colorés, alors même que la réflexion ne donne pas naissance comme la réflexion à une image prismatique. Si le rayon AB, fig. 7, tombe sous l'angle de polarisation sur la surface DE, le rayon, à cause de l'inégale réfrangibilité des diverses couleurs dont il se compose, se dispersera en donnant naissance à un spectre. Perpendiculairement au rayon M d'intensité maximum se trouvera le rayon C, réfléchi et polarisé rectilignement aussi complétement que

Digitized by Google

possible. Herschel a prouvé par expérience que la lumière blanche n'était jamais complétement polarisée, c'est-à-dire que, si un rayon solaire, après avoir été polarisé par une glace noire, est réfléchi de nouveau par un second miroir perpendiculaire au premier, il n'est jamais parfaitement éteint. Quand l'extinction est aussi complète que possible, la lumière réfléchie conserve encore une teinte pourpre, ou mieux, violette. Les rayons jaunes ou les rayons de plus grande intensité sont ceux qui s'éteignent le mieux. Ainsi donc, dans la figure précédente, à côté du rayon jaune C, on aura, pour chacun des





rayons du spectre réfracté, un rayon réfléchi bleu-violâtre, qui ne sera pas complétement polarisé, ou, ce qui revient au même, le rayon violet C échappe en C' à la polarisation complète ; mais l'œil reçoit de chacun des points situés dans la direction BD un semblable rayon violet qui, avec le jaune, recompose le blanc sur toute la surface.

On peut donc admettre sans erreur que chaque surface de lumière polarisée, qu'elle soit perpendiculaire ou inclinée sur l'axe de vision CB, envoie à l'œil autant de maximum de clarté que de minimum, et l'on peut considérer cette surface, fig. 8, comme composée d'un grand nombre de petits carrés qui confinent aux points a', b', c'... a, b, c..... L'axe de vision passe par le point milieu B.

Abstraction faite de toute hypothèse sur la direction des vibrations transversales, on ne peut nier que les vibrations des rayons polarisés sont en parfaite correspondance avec le rayon d'intensité maximum et n'ont lieu que dans une seule direction, tandis que la lumière d'intensité minimum, incomplétement polarisée, contient

Digitized by Google

encore des vibrations de toute direction, qui, avec les vibrations précédentes, doivent contraster à angle droit. Une des couleurs apparaîtra donc dans une certaine direction suivant BD ou BE dans le plan de polarisation, tandis que l'autre se montrera dans la direction perpendiculaire BF ou BG. L'observation montre que l'on voit le maximum d'éclat dans la direction du plan de polarisation DE, le minimum dans la direction FG. La différence d'intensité des deux couleurs va en augmentant vers le milieu, ou vers le point B, lorsqu'on regarde le phénomène de face dans une direction perpendiculaire; elle diminue à partir du centre dans toutes les directions, et plus vite naturellement vers les limites des deux couleurs. Comme l'œil perçoit mieux ce qui est clair que ce qui est sombre, et que ce qui est plus clair paraît plus étendu d'après les lois de l'irradiation, l'œil voit la houppe jaune plus nettement et probablement plus étendue que la houppe violette, quoique, dans la construction des couleurs, on prenne pour le violet un espace égal.

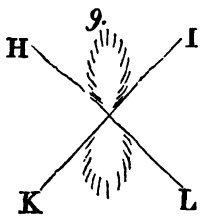
Il faut encore attribuer à l'irradiation ce fait que, dans cette apparence éminemment délicate et qui se renouvelle réellement à chaque instant, l'œil n'a pas la sensation de l'angle droit qui sépare le faisceau violet du faisceau jaune. Le jaune, plus brillant, empiète et agit sur l'œil tout le temps que l'ensemble met à pâlir, jusqu'à ce que plus tard, par une surexcitation, le violet domine à son tour et fasse naître des espaces jaunes perpendiculairement aux espaces violets préexistants. La forme de la ligne courbe à laquelle le phénomène donne naissance est celle d'une hyperbole dont les assimptotes H Z et IK se croisent à un angle droit, comme la fig. 9 le représente pour les houppes jaunes.

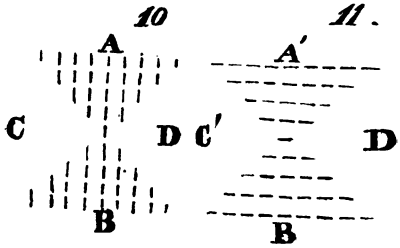
Si l'on peint en croix sur du papier les deux couleurs jaune et violette telles qu'elles se présentent dans les phénomènes, et que nous les avons figurées, de telle sorte qu'au milieu, partagé en quatre parties bien distinctes, ces tons soient plus forts et aillent en se dégradant à mesure qu'on s'approche des bords extérieurs, puis que l'on regarde cet ensemble à une distance plus grande que celle de la vue distincte, on s'aperçoit que l'impression du jaune sur la rétine empiète sur celle du violet, et produit la sensation d'un faisceau jaune.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que les deux cou-

Digitized by Google

leurs, le jaune et le violet, étaient dans le rapport qui constitue les couleurs complémentaires : or, ce rapport dépend beaucoup de la nature propre de ces couleurs, du fond et de la couleur du fond sur lequel elles se dessinent à égalité d'intensité ; le jaune qui tire sur l'orangé est complémentaire du bleu clair, et le vert jaunâtre répond au violet. Mais en même temps la qualité de la lumière qui entre dans l'une ou l'autre des couleurs exerce une certaine influence. Dans les deux images claires de la loupe dichroscopique, et dans les





deux images sombres d'un carré noir regardé à travers un double spath, le jaune paraît un peu rougeâtre et le violet un peu gris ; dans le ciel serein, les houppes jaunes se distinguent moins par la pureté de la couleur que par le beau bleu foncé des espaces qui les entourent. Dans l'andalousite, ces houppes sont presque de couleur orange, et les espaces paraissent nettement violets.

Le contraste du jaune et du violet devient très-beau quand on observe à travers une feuille mince de mica, à l'aide de laquelle on peut faire tourner les grandes houppes produites à quelque distance par la réfraction à travers un carreau de fenêtre.

Quand on regarde à travers la face P, qui est perpendiculaire à l'axe du prisme hexagonal de la cordiérite, et dans la direction des axes, on aperçoit sur le fond bleu une houppe dont la couleur, comme je l'ai dit ailleurs, est manifestement, mais faiblement violette. La couleur de la face P ne contient pas de jaune, cependant le violet mentionné n'est pas celui qui se trouve entre le bleu et les raies H et J de Fraunhofer, ni celui près de l'extrémité violette du spectre.

Ajoutons encore quelques mots relatifs à la direction théorique dans laquelle s'exécutent les vibrations transversales.

D'après l'analogie avec la corde tendue de Young, et d'après l'observation facile d'une corde vibrante au point de son plus grand écar-

Digitized by Google

tement, je crus, dit M. Haidinger, pouvoir admettre que la direction des vibrations coïncide avec la direction de la houppe jaune.

Malgré l'amplitude presque infiniment petite des oscillations des molécules d'éther, la série de toutes ces vibrations, se réunissant après avoir atteint leur plus grand écartement, deviendrait sensible, et la houppe serait la somme de toutes les vibrations individuelles. Au contraire, M. l'abbé Moigno, en partant de la position de la houppe, qui se trouve toujours dans le plan de polarisation, en conclut avec Fresnel et Cauchy que ces vibrations s'exécutent perpendiculairement à l'axe de cette houppe, parce que le phénomène de la coloration s'étend des deux côtés de cet axe.

A cet égard, il s'agit principalement de savoir de quelle manière les vibrations de l'éther agissent sur l'œil : si, dans la lumière rectilignement polarisée, l'œil perçoit les plus grands écarts correspondants aux amplitudes des oscillations, écarts qui, dans la lumière ordinaire, sont identiques dans toutes les directions; ou si, pour s'exprimer ainsi, on voit par la tranche le plan tracé par les vibrations de l'éther.

Le premier cas, pour de la lumière rectilignement polarisée dans la direction AB, serait représenté fig. 10 : alors le maximum de clarté apparaîtrait dans la direction AB, et le minimum dans la direction CD; car, dans cette direction, l'impression produite par le plus grand écart des oscillations serait atténuée par l'impression plus faible de la surface sous-jacente. Mais si l'œil reçoit les rayons qu'envoient des deux côtés et, parallèlement à l'axe de la vision, les plans couverts de vibrations transversales, comme dans la fig. 11, alors le maximum de clarté est produit par les vibrations perpendiculaires à la direction du plan de polarisation.

M. Haidinger ne s'est pas cru obligé de se prononcer sur l'une ou l'autre de ces hypothèses; c'est, dit il, l'affaire des Airy, des Arago, des Biot, des Brewster, des Cauchy, des Herschel, des Neumann, qui ont déjà tant de fois traité ce même sujet.

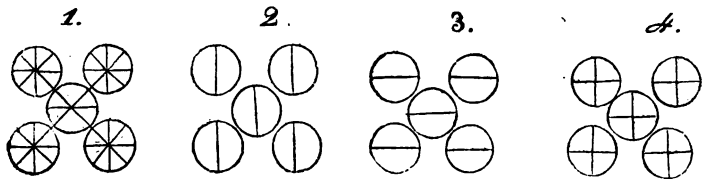
Sur les houppes des milieux qui polarisent la lumière dans deux directions perpendiculaires, par M. W. HAIDINGER.

L'observation de plaques qui polarisent la lumière en croix ou dans

Digitized by Google

deux directions perpendiculaires l'une à l'autre, quand on les regarde à traversla lumière ordinaire, présente une seule houppe, lorsqu'une direction agit plus fortement que l'autre, ou lorsque l'un des rayons est moins absorbé que l'autre, et l'effet entier est semblable à celui de la polarisation rectiligne.

On peut en quelques traits représenter graphiquement la direction des oscillations dans les différentes sortes de lumière telles qu'on les conçoit ordinairement. On choisit pour cela cinq cylindres de rayons, l'un au centre, et quatre placés régulièrement autour de lui.



La figure 1 représente les oscillations de la lumière ordinaire. Chaque cylindre est semblable à l'autre, ils forment ensemble ou réunis un cône de rayons qui rencontrent l'œil tous à la fois. Les oscillations qui composent chaque cylindre donnent de la lumière polarisée en tout sens, c'est-à-dire de la lumière ordinaire.

La lumière ordinaire n'existe pas seule, elle est souvent différemment mêlée à d'autres sortes de lumière. On n'a indiqué que la direction de quatre plans de polarisation. La figure 2 montre cinq cylindres de lumière rectilignement et verticalement polarisée : la direction de la ligne est celle du plan de polarisation du rayon. La figure 3 présente la lumière horizontalement polarisée : le plan de polarisation est horizontal en chaque point. L'ensemble de 2 et 3 donnerait de la lumière polarisée dans deux directions perpendiculaires, fig. 4. Des plaques de cristal taillées parallèlement, ou du moins non perpendiculairement aux axes, et telles que la nature les donne dans les feuilles de mica, par exemple, offrent ce mélange de faisceau de rayons polarisés en croix ou dans deux directions perpendiculaires. Le même mélange résulte également de la réflexion sur les faces intérieures des verres, sous l'angle-limite, comme dans le parallélipipède de Fresnel, ou de la réflexion sur des surfaces métalliques.

D'après la théorie des vibrations, on sait que l'un des rayons est en retard d'un quart de longueur d'onde. Dans le parallélipipède de

Digitized by Google

Fresnel, la moitié de ce retard est produite par chacune des deux faces intérieures où la réflexion totale a eu lieu ; dans le mica, par chacune des deux faces de séparation entre les deux milieux hétérogènes de l'air et du mica.

Le long de l'axe unique d'un rhomboèdre ou d'une pyramide, le cylindre central diffère de ceux qui l'entourent, comme fig. 5, où nous n'en avons dessiné que huit, en place d'un nombre indéfini qui sortent du centre radialement dans toutes les directions, et qui réunissent en cercles les intersections des plans tangents. Mais le mica ne peut produire que sous une certaine épaisseur le phénomène de la parfaite égalité des deux rayons, fig. 4 ; des feuilles plus épaisses présentent des phénomènes de dichroïsme analogues à ceux de la lumière rectilignement polarisée, si on les examine à l'aide du double spath, ou mieux avec la loupe dichroscopique. Regardées ainsi dans la lumière blanche non polarisée, ces lamelles donnent des houppes jaunes dont l'axe est manifestement perpendiculaire au plan des axes optiques. Il n'est ici question que du mica à deux axes, qui nous vient de la Sibérie ou du Brésil, et que l'on peut facilement se procurer en beaux échantillons. On voit également les houppes dans d'autres cristaux, et surtout dans ceux qui se distinguent par le dichroïsme de leurs faces, comme l'andalousite et la tourmaline, même quand l'un des rayons n'est pas complétement absorbé. Souvent, à l'aide des houppes, on peut distinguer les cristaux positifs des cristaux négatifs : ils diffèrent en ce sens que le rayon ordinaire qui domine dans les premiers, et le rayon extraordinaire qui domine dans les seconds, sont tour à tour le rayon moins absorbé, comme M. Babinet l'a souvent observé : cette loi cependant n'est pas générale ; et il reste d'ailleurs à observer à l'aide des houppes la position du rayon dominant et du rayon absorbé.

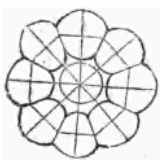
En regardant à travers un cristal de roche pur et taillé les nuages gris et parfaitement neutres du ciel, ou le papier blanc, M. Haidinger n'est jamais parvenu à voir quelque chose qui ressemblât à une houppe. L'améthyste n'est pas non plus favorable pour ce genre d'observation, car en l'examinant par les faces parallèles du prisme ∞ Q de 120°, les deux rayons sont presque de la même couleur ; le rayon ordinaire est un peu plus violet rougeâtre, le rayon extraordinaire est violet bleuâtre, même dans les morceaux où la différence est si grande,

Digitized by Google

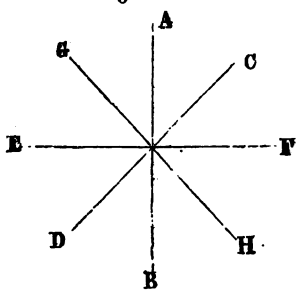
que dans la lumière ordinaire et dans la direction de l'axe, le cristal paraît rougeâtre, tandis qu'il apparaît bleu violâtre dans la direction perpendiculaire à l'axe. Si, au contraire, on regarde à travers les deux faces parallèles d'un prisme de cristal de roche de couleur brun-œillet ou de topaze enfumée dans la direction de l'axe, on observe très-nettement les houppes.

Le rayon ordinaire de la topaze enfumée est le rayon dominant ou le plus intense, et possède lui-même la belle couleur brun-œillet du cristal; le rayon ordinaire est plus absorbé, et paraît dans la loupe dichroscopique en contraste avec l'autre, savoir, de couleur jaune citron et beaucoup plus sombre que le rayon ordinaire. Cette différence d'intensité est manifestée par les houppes. Le quartz appartient aux cristaux positifs, c'est-à-dire aux cristaux ayant un axe attractif, où le rayon ordinaire est plus réfracté vers l'axe que le rayon extraordinaire, et où le coefficient de réfraction pour O 1,5484 est plus petit que celui pour E 1,5582 (Malus). Dans les cristaux vert de montagne de béryl, la houppe persistante occupe, comme dans le quartz, la position de l'axe du cristal. O reste, mais souvent sans couleur; E est plus absorbé, et d'un bleu de ciel foncé. L'impression simultanée des deux couleurs produit la couleur bleuâtre pâle qu'affecte l'ensemble : ce fait est en opposition avec la loi de M. Babinet, puisque le béryl appartient à la classe des cristaux négatifs.

5



6



Mais les cristaux de béryl jaunes et verts d'huile présentent en O une teinte un peu plus foncée que celle du rayon E, qui est cependant de la même couleur.

Si l'on étudie dans les différentes variétés de spath pesant les couleurs des faces du clivage plus parfait, on retrouve également ces

Digitized by Google

mêmes modifications. En les plaçant verticalement, l'angle aigu du prisme de clivage en haut, on trouve dans la loupe dichroscopique les couleurs suivantes :

Dans la baryte,	l'image supérieure,	l'image inférieure.
	O	E
De beira,	bleu-violet foncé,	jaune de paille clair.
De felsobanya	jaune de vin,	jaune de citron.

Dans le premier, E domine, et la houppe est aussi horizontale ; dans le second, O domine, et la houppe est verticale.

Nous pourrions citer encore plusieurs exemples, mais ils seraient superflus quant au développement de la théorie. Pour l'observation des houppes, il n'est pas nécessaire que les surfaces soient lisses ou polies, ou soient des faces naturelles de cristaux. Les cassures de tourmaline et d'andalousite les montrent aussi bien que des surfaces unies.

A travers des faces inclinées ou des prismes taillés dans cette sorte de cristaux, on observe les houppes sans qu'elles soient terminées par des bords nuancés, alors même que l'on voit à gauche et à droite les bords colorés, par exemple, des barreaux de croisées. Les houppes se montrent dans la matière comme quelque chose de tout à fait immatériel, auquel aucune couleur terrestre ne peut s'attacher. Un phénomène éthéré ne serait pas ici une expression poétique, puisqu'elle rappelle les oscillations de l'éther lumineux.

La lumière qui traverse les plaques de cristal ci-dessus examinées peut être considérée comme étant composée d'une partie de la lumière fig. 4 mêlée à une portion de lumière fig. 2 ou 3, c'est-à-dire de lumière dépolarisée ou polarisée en croix, et de lumière rectilignement polarisée, mélange par lequel on représente de la lumière ordinaire fig. 1.

Supposons maintenant qu'on considère de la lumière rectilignement polarisée, et de la lumière rectilignement et un peu verticalement polarisée, comme celle qui est réfléchie sur un miroir horizontal, qu'on regarde sous l'angle de polarisation. Pour faciliter l'intelligence, nous traiterons séparément ces deux sortes de lumière, en admettant que la première surface est polarisée suivant AB, fig. 6, la seconde suivant CD. D'après les lois connues, l'intensité de lumière du rayon ordinaire polarisé suivant CD est exprimée par la formule de Malus : $Fc^2 \cos^2 i$; l'intensité du rayon extraordinaire po-

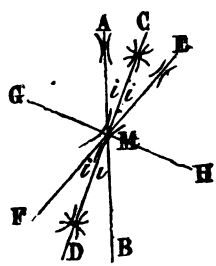
Digitized by Google

larisé, suivant CH, est représentée par l'expression $Fe^2 \sin^2 i$. Dans la lumière rectilignement polarisée, la portion GH est nulle; par conséquent, l'intensité de lumière, en partant de la position parallèle de la seconde plaque, va en diminuant vers AB, et devient un minimum, ou nulle, lorsqu'elle arrive en EF, ou qu'elle est perpendiculaire à la première direction. Pendant ce mouvement, on observe toujours la houppe dans la direction CD, et elle tourne constamment avec la plaque analysante.

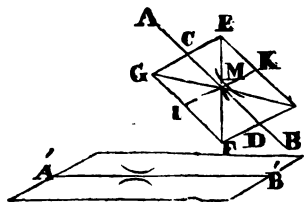
La lumière transversalement polarisée donne un autre résultat. Soit AB, fig. 7, la direction du plan primitif de polarisation; CD la direction de la section principale des feuilles de cristal, par exemple, du mica, selon laquelle s'opère la réfraction ordinaire.

La petite houppe qui se voit à l'extrémité A dans la figure indique la direction des houppes dans le plan primitif de polarisation. Les houppes croisées en C et en D indiquent la position des sections principales optiques dans la feuille de cristal. Au milieu de la figure, sur le point d'intersection des deux lignes AB et CD, qui se coupent sous l'angle i, est dessinée la position de la houppe qui, après la rotation de la feuille de mica, apparaît dans la direction de EF. Cette houppe ne se rapporte ni à la position de la section principale primitive, ni à la section principale CD de la feuille de mica,

7.



8.



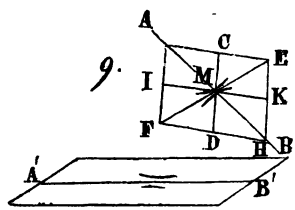
selon laquelle s'opère la réfraction ordinaire, ni à la direction perpendiculaire GH, suivant laquelle s'opère la réfraction extraordinaire: mais elle apparaît dans une direction intermédiaire entre les deux dernières, inclinée vers AB d'un angle égal i, de telle sorte que l'angle EMA = 2CMA. Si, par exemple, i = 45°, la houppe apparaît, quand on l'observe à travers la plaque de cristal, dans une position per-

Digitized by Google

pendiculaire à la direction primitive AB. En tournant la plaque de 90 degrés, la houppe se retrouve dans sa position primitive. Si la rotation est de 180 degrés, la houppe a déjà parcouru un cercle entier. Elle parcourt deux circonférences pendant que la rotation atteint 360 degrés.

Dans un Mémoire précédent sur les houppes de polarisation, contenu dans les Annales de Poggendorff 1844, n° 9, il a été déjà question des phénomènes produits par une feuille de mica interposée entre l'œil et une houppe vue dans une direction fixe. Si la position d'un des axes d'élasticité coïncide avec la direction de la houppe dans la lumière primitivement polarisée, alors la houppe, observée à travers le mica, reste immobile. Quoique l'on ne puisse jamais apercevoir la houppe en perspective, nous avons représenté cette relation, afin d'en faciliter l'intelligence, dans la fig. 8. C'est plutôt une représentation idéale de l'intersection du phénomène avec le plan montré en perspective. A'B' représente l'intersection du plan ou d'une glace noire avec le plan de polarisation : AB se trouve également dans ce dernier plan : CD est un des axes d'élasticité de la feuille de mica.

Or, si l'on fait tourner C de A vers la droite et du côté de E, d'un angle i, la houppe paraît aussi éloignée, à droite de la ligne CD, que A est resté vers la gauche en arrière, c'est-à-dire que l'espace angulaire parcouru par la houppe est égal à 2 i. Dans la figure 9, nous avons également représenté en perspective l'observation correspondante à une rotation de 45 degrés. La houppe forme un angle de 90 degrés avec la surface primitivement polarisée.

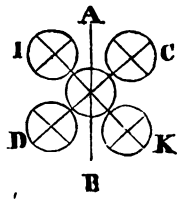


Les houppes se manifestent mieux et paraissent plus vivement colorées, quand on emploie des feuilles de mica très-minces, par exemple, des feuilles qui, interposées entre deux polarisateurs croisés dans l'azimut de 45 degrés, montrent les couleurs pâles du premier ordre des anneaux de Newton.

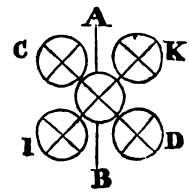
Digitized by Google

Si l'on examine la position des plans de polarisation dans cinq faisceaux cylindriques juxtaposés, fig. 1 et 4, la feuille de mica produira l'effet indiqué par les fig. 10 et 11. Le plan de la section principale

10.



11.

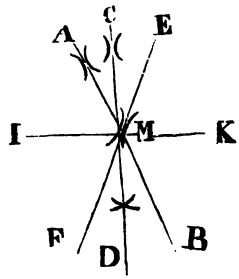


CD se trouve, fig. 10, tourné à gauche, et, fig. 11, à droite, de la position primitive du plan de polarisation AB. Dans les deux cas, la houppe occupe une position horizontale, mais, ainsi que le montre l'observation, son extrémité supérieure présente une déviation vers la droite, dans la fig. 10, et vers la gauche, dans la fig. 11. Dans les deux cas, la lumière est circulairement polarisée, mais avec une rotation opposée. M. Von Ettingshausen a observé que par un parallélipipède de Fresnel la houppe était déviée de 2 i, comme elle l'aurait été par une feuille de mica.

La mobilité de la houppe est un phénomène très-frappant; elle paraît comme tout à fait indépendante du corps que l'on tient en main, tandis qu'au contraire on était habitué à voir la houppe immobile dans la lumière rectilignement polarisée.

Si l'on fixe au contraire les plaques de cristal polarisant en croix, et qu'on tourne derrière elles la surface de lumière rectilignement

12.



polarisée, comme fig. 12, vers la gauche, la houppe tourne avec la

Digitized by Google

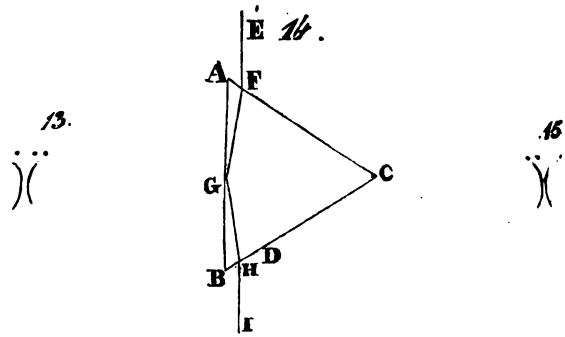
même vitesse angulaire vers la droite, de telle sorte qu'elle arrive dans la position EF, et que l'angle EMA est de nouveau égal à 2 CMA, ou CMA = CME. Si ces mouvements s'opèrent un peu vite la houppe se manifeste beaucoup plus vivement dans les directions CD et JK que dans les directions intermédiaires. La houppe paraît sauter d'une direction à l'autre, et ce n'est qu'avec beaucoup d'attention qu'on peut suivre la déviation régulière et progressive, qui était si facile à observer, quand on tournait la feuille de mica. En même temps, l'observation attentive permet de saisir les variations intermittentes de la vivacité de la houppe dans les divers quadrants. Cette vivacité, cependant, semble plutôt être le résultat d'une impression complémentaire de la rétine.

Dans la position de la section principale CD, fig. 12, la houppe résultante paraît parfaitement symétrique à la houppe primitive ; ce qui se lie à la position opposée qu'occupe la face du mica tournée vers AB ; l'angle i résulte de l'autre face du mica, tournée vers l'œil. Les vibrations des particules d'éther pour le point M s'exécutent en rapport avec le plan de polarisation AB. Mais, d'après la loi d'intensité de Malus, ces vibrations ne peuvent avoir lieu que suivant le plan de polarisation EF et un second plan perpendiculaire. Au delà, ces deux systèmes d'ondes se réunissent de nouveau. Les beaux travaux de Fresnel ont jeté une grande lumière sur ce sujet. Si l'angle i est de 45°, la lumière manifeste une dépolarisation complète aussi longtemps que la décomposition, par les deux images du spath calcaire, donne, dans tous les azimuts, des intensités égales. Mais alors même on voit apparaître une houppe réelle, et dans une position perpendiculaire à la position primitive. La position renversée de la houppe, par rapport à sa position dans le plan de polarisation primitif, peut être regardée comme un caractère de la lumière circulairement polarisée. La polarisation elliptique de la lumière peut être caractérisée par la déviation sous divers angles vers la droite ou vers la gauche de la position de la houppe, sur les plaques polarisant en croix ; cette déviation se mesure en partant de la position de la houppe que produisait le faisceau de lumière polarisée primitive vu à travers ces plaques.

On peut facilement obtenir des images très-fidèles de toutes les positions qu'occupe la houppe qu'on observe de cette manière, en regar-

Digitized by Google

dant une surface de lumière rectilignement polarisée et à travers des lames polarisant en croix, à l'aide d'un mécanisme au moyen duquel on substitue aux apparences subjectives un objet réel. Le principe de ce mécanisme, c'est la simple réflexion d'un miroir qui représente l'objet à une distance angulaire double, en même temps que dans une position renversée. Supposons que l'on regarde la fig. 13, qui doit représenter, à travers un prisme triangulaire ordinaire, fig. 14,



taillé sur toutes les faces, et dans une direction parallèle au plan AB, les houppes dont on représente les cotés par les points. et..; une grande partie de la surface àdroite de D jusqu'à C paraîtra sombre et la partie BD brillante. Le rayon lumineux qui vient de l'objet E est réfracté en F, et subit en G la réflexion totale pour de nouveau être réfracté en H, en sens opposé. Il arrive blanc en I ou dans l'œil, mais l'image de l'objet E est renversée du côté de GC. L'image fig. 13 se montrera renversée fig. 15, parce qu'elle est le produit d'une réflexion. Dans cette observation toute la partie du prisme à droite de D vers C reste inactive. Un prisme à angles obtus, comme dans la fig. 16, paraîtra éclairé sur toute la face BC, si l'angle ACB et le coefficient de réfraction sont dans un rapport tel qu'un rayon de lumière central EI passe à la fois par les milieux de toutes les faces, ainsi qu'on le voit aux points F, G et H de la coupe transversale représentée par la figure. Si FK est perpendiculaire à AB, AK sera égal à KG. Donc tang AFK = tang (LFK + LFG), si LF est perpendiculaire à AC. Or, LFK est égal à FAK, et LFG est l'angle réfracté du rayon incident EF. En posant AFK = b, LFK = a, et LFG = c, on aura :

Digitized by Google

$$\frac{\text{Sin. b}}{\text{Cos. b}} = \frac{\text{sin. (a + c)}}{\text{cos. (a + c)}},$$

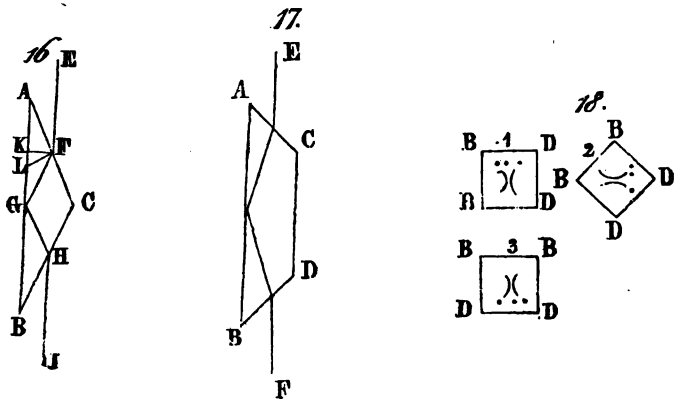
d'où l'on déduit :

$$\text{Cos. a} = \pm \sqrt{\left(\frac{1 + 4\,n^2 \pm \sqrt{(1 + 8\,n^2)}}{8\,n^2}\right)}$$

Pour $n = 1,5$ ou $2/3$ dans quelques crown-glass, on trouve pour a 26° 43 , et par conséquent l'angle déjà très-obtus du prisme A C B est égal à 127° 34′.

M. le professeur Steinheil, en joignant l'observation à travers deux faces d'un prisme rectangulaire isocèle à l'observation directe, a donné un moyen facile de déterminer les passages des étoiles au méridien. M. Ploesl a construit sur ce principe des appareils à l'aide desquels on détermine le passage du soleil au méridien à deux secondes près.

M. Ploesl avait déjà construit pour M. Purkinje des prismes servant à des recherches microscopiques, dont la coupe est représentée par la fig. 17. C'étaient des segments de prismes rectangulaires ; les deux angles adjacents A et B étaient de 45°, les autres C



et D de 135°. Ces prismes reproduisent parfaitement les phénomènes. Dans la première position 1, fig. 18, l'image réfléchie de l'objet fig. 13 avait conservé une position parallèle; dans la seconde position 2, qui s'écartait de la première de 45°, fig. 18, la même image réfléchie avait déjà tourné de 90° ; enfin, dans la troisième 3, qui s'écartait de la première de 90°, fig. 18, la même image réflé-

Digitized by Google

chie avait tourné de 180°. Après avoir obtenu, à l'aide d'un prisme n° 1, une première image réfléchie dans une direction fixe, on la regardait à travers un prisme n° 2 : l'image véritable de l'objet paraissait rétablie par la double réflexion, mais en la tournant, c'est-à-dire en tournant le prisme n° 2, on pouvait la faire tourner avec une vitesse angulaire double, du côté de la rotation du prisme. Mais quand le prisme n° 2 restait fixe, et qu'on tournait le prisme n° 1 à droite autour de l'axe de vision, on voyait très-nettement l'image se déplacer vers la gauche avec une vitesse angulaire double.

Si l'on tourne en même temps les deux prismes combinés soit à droite, soit à gauche, l'image reste immobile, parce que la double réflexion intérieure rétablit le rapport primitif. C'est l'effet du parallélipipède de Fresnel, à travers lequel on observe également l'objet qui est resté immobile après la double réflexion totale intérieure. Mais la lumière subit, par l'action de la réflexion totale à la face intérieure du verre, cette même décomposition en deux rayons perpendiculairement polarisés l'un sur l'autre ; et si en se servant du prisme obtus fig. 17 on regarde, au lieu d'un objet ou d'une houppe fig. 13, une surface de lumière rectilignement polarisée, on verra les houppes se mouvoir avec une double vitesse angulaire, comme cela a lieu quand on se sert d'un parallélipipède de Fresnel.

Le parallélipipède de Fresnel fait tourner les houppes avec une double vitesse angulaire, mais il ne renverse pas les images des objets. Une feuille de mica laisse, comme le parallélipipède, les objets dans leur position naturelle, et elle fait tourner les houppes avec la même vitesse angulaire double. Le prisme triangulaire fait tourner les houppes avec une double vitesse angulaire, et de plus il fait varier la position des images des objets avec la même vitesse angulaire double.

Mais autant il est facile d'observer les variations de position de l'image, autant il est difficile de reconnaître les houppes à travers le prisme triangulaire ou à travers le prisme représenté dans la fig. 17, construit pour Purkinje, parce qu'on ne voit à la fois que des surfaces très-petites. Cependant M. Haidinger a reconnu la position des houppes à travers le prisme de Purkinje, en observant les deux images contrastantes produites par les deux faisceaux perpendiculairement polarisés de la loupe dichroscopique : il pouvait ainsi exciter la rétine

Digitized by Google

par l'observation alternative des deux images, dans chaque nouvelle position du prisme.

On obtient de même le phénomème de la double déviation angulaire d'un objet, si dans la fig. 7, où les droites C D et G H représentent deux miroirs croisés, ou leurs moitiés GM et CM, l'on se contente du quadrant supérieur à gauche. Dans le miroir C M, A M paraît dans la position de E M; dans le miroir G M, le même A M paraît dans la position de F M, et forme avec M E une ligne droite, parce que G M A + A M C = 90°, et 2 G M A + 2 A M C = 180°. Naturellement tous les quadrants produisent le même effet.

Des miroirs infiniment minces et parfaits sur les deux faces transporteraient la houppe A B exactement dans la position E F, mais chaque extrémité de la seconde houppe serait composée des deux extrémités de AB. Cependant le phénomène se différenciera de cette manière : si CD est la section principale, l'image de A en F devancera l'image de B en F, tandis que l'image de A en E sera, comparativement à l'image de B en E, de quelques oscillations en retard. On voit ainsi apparaître le caractère de la polarisation circulaire, qui est de rendre la houppe nouvelle perpendiculaire à la houppe primitive. Il n'existe point d'oscillations dans la direction EF; les vibrations se font parallèlement aux lignes C D et G H dans les deux systèmes d'ondes, qui, séparés par un quart d'ondulation, forment par leur ensemble la polarisation circulaire. Les molécules d'éther lumineux ne peuvent vibrer que dans la direction du plan sur lequel elles sont rangées l'une à la suite de l'autre.

La cristallisation, l'arrangement de la substance et de l'éther dans des plans perpendiculaires aux axes d'élasticité des cristaux trouvent ici, dans le phénomène des houppes, une représentation en rapport avec des objets sensibles connus, et avec laquelle on peut les comparer jusque dans les plus petits détails.

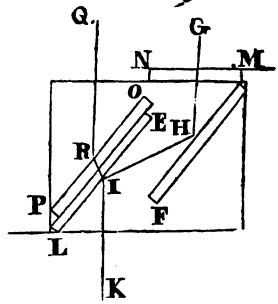
On peut, d'une manière plus facile et par une expérience directe, combiner deux sortes de systèmes d'ondes perpendiculaires, en se servant de l'appareil représenté fig. 19. Le rayon de lumière GH tombe sous l'angle de polarisation en H sur une glace noire, et, polarisé par réflexion, il est réfléchi de J vers l'œil K.

Le rayon de lumière QR traverse la plaque transparente EL, et se réunit avec JK; mais il est polarisé par transmission, c'est-à-dire

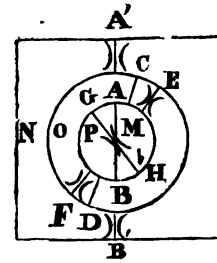
Digitized by Google

perpendiculairement au premier rayon. On peut nuancer la lumière G au moyen d'une plaque de verre coloré NM, et la lumière Q au moyen d'une autre plaque de verre coloré OP, ou l'on peut colorer seulement un de ces faisceaux lumineux. La couleur de JK sera le mélange des deux couleurs. On sépare facilement et d'une manière parfaite les deux couleurs, en les examinant par un double spath, par exemple, par la loupe dichroscopique, avec laquelle on regarde dans la direction KJ. Comme on peut, à l'aide des verres, substituer facilement les

19.



20



couleurs les unes aux autres, employer des teintes complémentaires ou d'autres nuances fort riches, cette disposition permet d'obtenir de très-jolis contrastes de couleurs, qui méritent d'être étudiés. On produit ainsi le diochroïsme artificiel. Il faut faire en sorte que le rayon GH soit toujours plus lumineux que le rayon QR, qui amène toujours beaucoup de lumière ordinaire et non polarisée, ou diminuer l'éclat du dernier par des plaques de verre dépolies.

Il n'a jamais été possible d'obtenir par la rotation de cet appareil le déplacement angulaire double de la houppe d'une large surface de lumière rectilignement polarisée. La rotation même de la loupe dichroscopique, observée à travers cet appareil, restait sans influence. Les surfaces MF et EL paraissaient agir, chacune en particulier, comme analyseurs.

Quand on place deux feuilles parallèles de mica l'une derrière l'autre, comme le montre la fig. 20, et dans la position CD, devant une surface de lumière rectilignement polarisée A'B', la houppe paraît d'abord verticale. En fixant la feuille n° 1, plus rapprochée de la surface A'B', et en tournant la feuille n° 2, plus éloignée de cette surface ou plus rapprochée de l'œil, en haut vers la droite, et en bas vers la

Digitized by Google

gauche, alors la houppe suit la direction du mouvement vers la droite, comme s'il n'y avait qu'une feuille de mica; mais, en laissant fixe la lame n° 2 et en tournant la lame n° 1 à droite, la houppe s'éloigne vers la gauche avec la double vitesse angulaire. Quelque frappant que soit ce phénomène, il n'en suit pas moins la loi qui préside au phénomène plus simple en apparence que nous avons déjà signalé. Supposons que la section principale de la feuille de mica immobile, n° 2 ou P, soit AB, fig. 20 : et A'B' le plan de polarisation de la surface lumineuse N. La feuille de mica n° 1 ou O est tournée en haut, vers la droite, sous l'angle i = A'MC, de sorte que sa section principale prenne la position CD. La houppe parcourra la double distance angulaire 2 i, et paraîtra dans la direction EF : l'on observe maintenant cette houppe à travers la feuille n° 2 ou P, et, comme la section principale de P occupe la position AB, la houppe fera l'angle 2MA ou EMG, et paraîtra de l'autre côté de AB. L'arc GMA est égal à 2A'MC ou à la double distance angulaire, mais en sens opposé vers la gauche.

Ce phénomène est parfaitement analogue à celui que nous avons mentionné dans l'expérience ci-dessus décrite, avec les deux prismes de Purkinje, lorsqu'on faisait tourner le prisme n° 1, c'est-à-dire le plus rapproché de l'objet.

On voit facilement que les rapports de forme et de grandeur dans la fig. 20 n'ont été adoptés que pour mieux représenter les phénomènes. Pour faire les observations réelles, il est important d'employer des feuilles de mica, dont la largeur et la hauteur soient au moins de trois à six pouces, et sur lesquelles on ait marqué la position des deux sections principales perpendiculaires l'une à l'autre. A cette fin, on peut très-facilement se servir du phénomène des houppes mêmes.

Pour observer la rotation des houppes, il n'est pas absolument nécessaire d'opérer sur une feuille de cristal transparent, ou une plaque polie. Tout cristal de quartz, quelque strié et épais qu'il soit, et tout fragment de spath calcaire, peuvent servir à l'observation, alors même que les faces sont dépolies. On réussit très-bien avec des morceaux de quartz ou de topaze. La seule chose absolument nécessaire à la production des phénomènes est un degré suffisant de clarté et une cristallisation régulière dans l'intérieur.

Nous ne discuterons pas ces Mémoires, car il faudrait pour cela

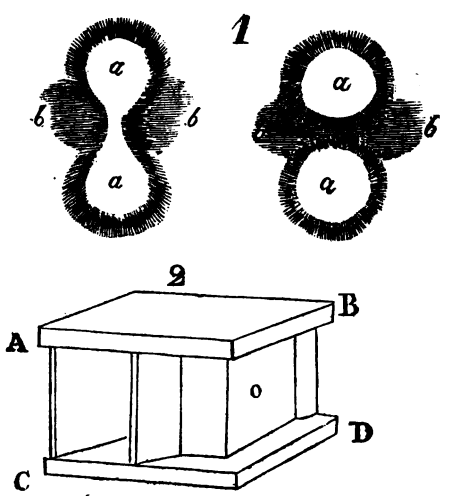
Digitized by Google

que nous eussions pu répéter ce grand ensemble d'observations : M. Haidinger, au reste, décrit les faits qu'il a vus et longtemps considérés ; il est aussi habile observateur que savant consciencieux : nous sommes donc assuré d'avance de la vérité absolue des phénomènes qu'il décrit.

Nous insérerons encore la petite Note suivante, qui fait mieux connaître la forme des houppes colorées.

Sur les impressions complémentaires des couleurs dans l'observation des houppes de lumière polarisée, par M. HAIDINGER.

« Parmi le grand nombre des personnes auxquelles j'avais eu l'occasion de montrer les houppes jaunes de lumière polarisée, M. l'abbé Moigno me fit le premier l'observation qu'il ne voyait pas le jaune des deux parties *a* et *a* de la houppe unies entre elles par un ruban étroit de couleur jaune, comme moi je l'avais décrit et comme le montre la fig. 1.



» Au contraire, selon sa description, les deux espaces gris-violâtres *bb* lui paraissaient liés ensemble au centre par un ruban de la même couleur, même figure 1. J'avais déjà tant de fois vu la houppe jaune dans son état parfait, que la comparaison des deux observations me

Digitized by Google

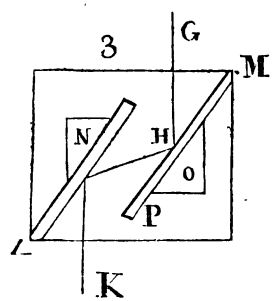
semblait indiquer une différence subjective de la sensibilité de l'œil pour des impressions de couleurs chez des individus différents. Satisfait de cette explication, je continuais à observer les houppes, lorsque, il y a quelques jours, j'ai eu l'occasion de les montrer à M. le baron Pittel; celui-ci vit nettement et indubitablement une houppe violette entourée des deux côtés de deux espaces jaunes. Dans les différentes expériences que je fis pour mieux faire ressortir ce phénomène, mon œil subissait quelquefois la même impression: il fallait donc chercher une autre explication. J'ai déjà dit qu'en regardant la surface polarisante, la houppe ne paraît dans son plus vif éclat qu'après que la rétine a été excitée par l'impression de la houppe complémentaire. Mais l'impression perd en vivacité à mesure qu'on regarde la houppe plus longtemps, de sorte qu'à la fin toute la surface prend une couleur uniforme. Or, surexcitée au commencement par le faisceau jaune le plus intense, on aperçoit tout près du centre le violet-gris complémentaire. La première apparence, fig. 1, ne se transforme en l'autre qu'au moment où le phénomène va disparaître. C'est donc la différence des temps pendant lesquels on observe le phénomène qui est la cause de la différence constatée entre les résultats de l'observation. Si on tourne subitement et horizontalement l'appareil d'un angle de 90°, l'œil par l'observation de la surface est déjà tellement excité, qu'on n'aperçoit qu'une houppe *jaune* intense. Mais en retournant l'appareil de 90°, l'œil excité par le jaune aperçoit au milieu le violet, et les deux taches jaunes sont séparées par un ruban violet. La houppe violette occupe à présent exactement la place de la houppe jaune qu'on vient d'observer. Si l'expérience ne réussit pas la première fois, en la répétant on arrivera bientôt au résultat énoncé. En observant avec attention la succession des phénomènes, j'ai souvent distingué un changement dans les couleurs les plus rapprochées du centre, de sorte que, par l'effet d'une nouvelle oscillation de l'impression sur la rétine, la houppe lumineuse reparaissait complétement jaune, quoique déjà plus faible avant que le champ de vision passât au gris uniforme.

» La fig. 2 représente un appareil que chacun peut construire sans difficulté, et à l'aide duquel on peut facilement faire contraster les phénomènes des houppes dans des plans perpendiculaires.

» La fig. 3 présente la coupe transversale de l'appareil : deux glaces chacune d'une longueur et d'une largeur de deux pouces, EL

Digitized by Google

FM, fig. 3, sont placées l'une vis-à-vis de l'autre, et forment ensemble l'angle de polarisation du verre $a=56° 45'$, de manière que le rayon de lumière GH est réfléchi dans la direction JK vers l'œil. L'une des glaces est plaquée, l'autre n'est qu'un simple verre de glace derrière lequel se trouve du papier noir mat. Les glaces sont attachées aux colonnes triangulaires N et O, qui sont fixées elles-mêmes entre les deux planchettes AB et CD.



» Malgré la modification de l'impression, l'exactitude de l'indication de la direction du plan de polarisation reste la même. Cette direction passe toujours par la houppe jaune ou par les deux espaces jaunes, tandis que la ligne qui traverse les espaces violets ou qui passe le long de la houppe violette est perpendiculaire au plan de polarisation. »

M. Botzenhart a fait faire un grand pas à l'étude des houppes colorées, par l'observation suivante :

Sur une modification du phénomène des houppes colorées de M. Haidinger, par M. BOTZENHART.

« Quand on tient la loupe dichroscopique de manière à ce que les deux images apparaissent l'une au-dessus de l'autre, qu'on regarde ainsi sur du papier blanc, et qu'on fixe pendant quelques moments et exclusivement, tantôt l'une de ces images et tantôt l'autre, on arrive par les mouvements alternatifs à distinguer fort bien les houppes de M. Haidinger.

» Si l'on pose entre l'œil et la houppe dichroscopique une plaque de quartz taillée perpendiculairement à l'axe, et si l'on regarde comme je viens de le dire, on verra :

Digitized by Google

» 1° Une déviation de la direction des houppes, plus ou moins grande, à gauche ou à droite, suivant l'épaisseur de la plaque, et selon que le quartz fait tourner le plan de polarisation vers la gauche ou vers la droite. On peut se convaincre de cette déviation, en ôtant subitement et alternativement la plaque de quartz et la remplaçant. Si l'on prend deux lames de même épaisseur, mais l'une d'un quartz tournant à droite, et l'autre d'un quartz tournant à gauche, et qu'on les place toutes les deux entre l'œil et la loupe, les houppes conservent alors la même direction qu'elles avaient dans ces plaques;

» 2° Outre les houppes jaunes et violettes, on verra aussi, en se servant d'une plaque assez mince, des houppes rouges et vertes, de sorte qu'on peut voir ainsi à la fois des houppes de quatre couleurs différentes : les houppes d'une même couleur sont placées, dans les deux images de l'ouverture, perpendiculairement l'une à l'autre. Il y a des plaques qui ne montrent que des houppes rouges et vertes ; il y en a qui ne montrent que des houppes jaunes et violettes, et d'autres enfin qui montrent quatre houppes : jaune, violette, rouge et verte ; ces différences dépendent de l'épaisseur de la plaque.

» L'explication de ces phénomènes se trouve sans aucun doute dans la propriété que possède le quartz, de faire tourner le plan de polarisation de la lumière rectilignement polarisée ; et, comme l'angle de la déviation varie avec la couleur du rayon, il est clair que les rayons différemment colorés, en traversant une semblable lame, en sortent polarisés dans divers plans; et, comme de fait on peut les voir séparément, il faut attribuer à notre œil une nouvelle faculté, inconnue, je crois, jusqu'à présent, et qui consiste à sentir, pour ainsi dire, la direction des vibrations des molécules d'éther : or cette faculté n'est pas moins intéressante pour la physique de l'œil que celle de percevoir la quantité relative des vibrations, ou, en d'autres termes, de sentir les couleurs. »

La présence des houppes dans la lumière polarisée soulève naturellement la question si délicate de la direction des vibrations des molécules éthérées par rapport au plan de polarisation, question sur laquelle nous sommes déjà revenus tant de fois, et qui, à en juger par les assertions contraires qui se produisent chaque jour, serait encore complétement indécise. M. Babinet a essayé de la résoudre dans une petite Note lue à l'Académie des Sciences, et que nous reproduisons ici.

Digitized by Google

Sur le sens des vibrations dans les rayons polarisés, par M. BABINET.

« La question de la direction des vibrations dans la lumière polarisée a été théoriquement l'objet de recherches nombreuses de la part des mathématiciens.

» J'ai cherché à la résoudre en déduisant le sens de ces vibrations d'expériences connues.

» J'ai cru pouvoir conclure de deux expériences capitales, dues à M. Arago, que les vibrations s'exécutent dans le plan même de polarisation, contrairement à ce qu'admettait Fresnel.

» *Première expérience*. Un papier blanc, éclairé perpendiculairement par le soleil, étant regardé très-obliquement au polariscope, envoie presque parallèlement à la surface du papier de la lumière qui a une polarisation sensible, dont le plan est celui de la feuille de papier. A ce résultat de M. Arago j'ai ajouté que la polarisation est la même quand on regarde la lumière qui émane dans un sens pareil au-dessous de la feuille de papier.

» *Deuxième expérience*. Une plaque métallique chauffée à blanc, étant observée très-obliquement, donne aussi la même polarisation. On sait que M. Arago a tiré de son expérience le moyen de distinguer les lumières émanées des corps solides ou liquides, d'une part, et de l'autre, des corps gazeux incandescents (le soleil est dans ces derniers). Ici on ne peut plus objecter les effets de la réflexion, puisque le corps est lumineux par lui-même.

» De ces deux expériences réunies, je déduis que les vibrations lumineuses d'un rayon polarisé s'exécutent dans le plan même de polarisation.

» Mon intention n'étant ici que de prendre date pour ces déductions théoriques, à l'occasion des travaux actuels de M. Arago sur l'optique, je renverrai à une courte note le développement ultérieur de ces conclusions, que je tiens beaucoup à rappeler à l'attention de l'Académie. »

M. Babinet devrait bien se hâter de publier les développements ultérieurs qu'il nous promet, car, comme il l'a reconnu lui-même, sa petite note démontre fort peu de chose. Nous n'admettons pas d'a-

Digitized by Google

bord, pour notre compte, le raisonnement de M. Babinet. Dans la lumière produite par l'incidence du rayon perpendiculaire, il distingue deux faisceaux à angles droits, l'un dont les vibrations seraient dirigées suivant la ligne qui joint le point d'incidence à l'œil, l'autre dont les vibrations seraient perpendiculaires à cette même ligne. Le premier rayon sera inefficace, dit M. Babinet, puisque ces vibrations ne sont pas transversales par rapport à l'œil : or, nous croyons que cette affirmation est purement gratuite. En second lieu, ajoute M. Babinet, le second faisceau, de fait, est polarisé dans le plan de la feuille de papier : or, ses vibrations sont parallèles à cette même feuille : donc les vibrations d'un rayon polarisé sont situées dans le plan même de polarisation. Mais il se présente une difficulté très-grave. Si le raisonnement de M. Babinet était vrai, il faudrait que la lumière du second faisceau fût complétement polarisée : or, il n'en est rien, et par cela même que ce raisonnement prouve trop, il ne prouve plus rien.

Pour expliquer cette polarisation incomplète, M. Babinet se croit en droit d'admettre l'existence d'un troisième rayon ou faisceau perpendiculaire à la feuille de papier, faisceau essentiellement distinct du troisième rayon ou du rayon évanescent de M. Cauchy, dont nous dirons quelques mots tout à l'heure. Nous voilà donc, grâce à M. Babinet, en possession d'un quatrième rayon ! Un troisième rayon, passe encore, car enfin l'espace a trois dimensions; mais un quatrième rayon, c'est trop de richesse. Dans une seconde édition, chers lecteurs, nous vous dirons, si M. Babinet s'est exécuté, la nouvelle forme qu'il a donnée à sa démonstration, et la nature de son troisième rayon, dont nous ne vous donnons aujourd'hui que l'extrait de naissance conjectural. Regrettons vivement, en attendant, qu'un physicien aussi profond que M. Babinet se soit laissé séduire par les vagues hypothèses de M. Mac-Cullagh. Nous aimons mieux, pour notre compte, nous appuyer sur M. Cauchy, qui, après avoir mis en avant le premier la supposition que M. Babinet défend avec tant d'ardeur, a eu le glorieux courage de se rétracter pour revenir à la théorie de Fresnel.

Voici comment le grand géomètre répond à M. Babinet.

Digitized by Google

Note sur la direction des vibrations lumineuses, par M. CAUCHY.

« Quant aux lois de la polarisation, elles seront précisément celles que j'ai indiquées dans mes précédents Mémoires, dont l'exactitude se trouve confirmée par les belles expériences de M. Jamin. Les formules qui fournissent ces lois déterminent en même temps la direction des vibrations de l'éther dans la lumière polarisée. Elles vérifient l'assertion de Fresnel. Comme je l'ai déjà dit en 1836, cet illustre physicien a eu raison d'affirmer, non-seulement que les vibrations des molécules éthérées sont généralement comprises dans le plan des ondes, mais encore qu'elles s'exécutent dans des plans perpendiculaires à ceux qu'on nomme les *plans de polarisation*. Comme dans l'avant-dernière séance un de nos confrères a révoqué en doute cette dernière proposition, j'en donnerai en peu de mots une démonstration tellement simple, qu'elle suffira, je l'espère, pour dissiper toute incertitude.

» Personne, aujourd'hui, ne conteste plus les conclusions auxquelles je suis parvenu dans les mémoires présentés à l'Académie en 1829 et 1830, savoir, qu'un milieu élastique, quand l'élasticité reste la même en tous sens, est capable de propager deux espèces de mouvements vibratoires à ondes planes. Les vibrations peuvent être, ou transversales, c'est-à-dire parallèles aux plans des ondes, ou *non tranversales*. Que les vibrations *non tranversales* soient ou ne soient pas *longitudinales*, c'est-à-dire perpendiculaires aux plans des ondes; qu'elles soient plus ou moins sensibles à des distances plus ou moins grandes des surfaces réfléchissantes, ou puissent même constituer ce qu'on appelle, dans la théorie de la lumière, des rayons évanescents, peu importe pour le moment. Il est certain, dans tous les cas, que si des ondes planes sont réfléchies ou réfractées par la surface de séparation de deux milieux, les vibrations non transversales s'exécutent dans des plans perpendiculaires aux traces des plans des ondes sur la surface elle-même.

» Cela posé, concevons qu'un rayon lumineux simple tombe sur la surface qui sépare l'un de l'autre deux milieux isophanes. Supposons, d'ailleurs, que, dans ce rayon, les vibrations des molécules éthérées soient, non-seulement transversales, mais encore parallèles

Digitized by Google

à la surface dont il s'agit, et par conséquent aux traces des plans des ondes sur cette même surface : ces vibrations transversales pourront bien donner naissance, dans les ondes réfléchies ou réfractées, à d'autres vibrations transversales, dont les directions soient parallèles à leur directions propres, mais jamais, évidemment, à des vibrations non transversales comprises dans des plans qui couperaient ces directions à angles droits. En conséquence, les vibrations non transversales ne pourront jamais être produites, dans le fluide éthéré, par la réflexion et la réfraction d'un rayon lumineux, lorsque les vibrations des molécules seront parallèles à la surface réfléchissante.

» Ce principe, qu'il me semble impossible de contester, étant admis, la question de savoir si le plan de polarisation d'un rayon lumineux est ou n'est pas perpendiculaire aux directions des vibrations d'éther se trouve complétement résolue. En effet, si, dans le rayon incident, les vibrations sont parallèles à la surface réfléchissante, alors, d'après ce qu'on vient de dire, les seules ondes produites dans le premier milieu par la réflexion, et dans le second milieu par la réfraction, seront des ondes à vibrations transversales, les directions de ces vibrations étant les mêmes dans les rayons incidents, réfléchis et réfractés. Si d'ailleurs le rayon réfléchi pouvait s'évanouir sensiblement, au moins sous un certain angle, alors, en vertu du principe de la continuité du mouvement dans l'éther, le rayon réfracté ne devrait différer, ni par sa direction, ni par sa nature, du rayon incident. Or, cette condition n'étant jamais remplie, quand l'indice de réfraction diffère de l'unité, on doit en conclure que tout rayon incident dans lequel les vibrations sont parallèles à la surface réfléchissante, et par conséquent perpendiculaires au plan d'incidence, est du nombre de ceux que la réflexion ne peut faire disparaître. Mais un tel rayon est précisément ce qu'on appelle un rayon *polarisé dans le plan d'incidence*. Donc le plan de polarisation est perpendiculaire aux directions des vibrations moléculaires. »

In caudâ venenum. M. Babinet veut à son tour que l'argumentation de M. Cauchy aboutisse à un avortement. Il n'avait pas le droit d'affirmer que tout rayon que la réflexion ne peut éteindre est un rayon polarisé dans le plan d'incidence : la mineure de son syllogisme est fausse, et, par conséquent, rien n'est démontré. Nous serions de l'avis de M. Babinet, si le rayon que la réflexion ne peut pas étein-

Digitized by Google

dre n'était pas un rayon dans lequel les vibrations sont parallèles à la surface réfléchissante : mais comment se refuser à admettre que le rayon à vibrations rectilignes parallèles au plan d'incidence, et que la réflexion n'éteint pas, soit autre chose qu'un rayon polarisé dans le plan d'incidence? Nous donnons donc raison à M. Cauchy.

Résumons encore une fois cette ennuyeuse controverse. Nous avons donc d'un côté Fresnel et M. Cauchy, la plus grande autorité physique, et la plus grande autorité mathématique; de l'autre, MM. Babinet, Mac-Cullagh, Newman et Broch; d'un côté une fécondité prodigieuse, presque une création, des explications faciles de tous les phénomènes, des interprétations naturelles de toutes les formules, la prévision infaillible d'une foule de faits inconnus, etc.; de l'autre, des abstractions stériles, des interprétations et confirmations détournées et pénibles, etc., etc. : que chacun choisisse!

Nous allons maintenant analyser, sans autre ordre que la progression du simple au composé, les différents travaux qui se rapportent, de près ou de loin, à la polarisation rectiligne, circulaire, elliptique, etc., etc.

Débarrassons-nous, avant tout, d'une note intéressante de M. Dove ; elle n'apprend rien de nouveau, mais elle rappelle nettement et classifie habilement des phénomènes importants.

I. *Formation du blanc par superposition des images complémentaires*, par M. Dove.

Si l'on comprend sous le nom d'achromasie prismatique l'ensemble des méthodes par lesquelles on parvient à réunir de nouveau les couleurs séparées par la dispersion, de manière qu'elles reproduisent du blanc, ces méthodes pourront généralement se partager en trois classes, présentant les caractères distinctifs suivants :

1. Les couleurs homogènes ne sont pas entièrement séparées par la réfraction : au contraire, il y a superposition dans certaines parties du spectre. C'est le milieu blanc du spectre produit par une grande ouverture.

2. Les couleurs homogènes déjà séparées sont projetées d'une manière quelconque sur le même point. A cette catégorie appartient :

Digitized by Google

a. La méthode de M. Wünsch, qui projette sur le même point les spectres de plusieurs prismes taillés sous les mêmes angles et formés d'un même espèce de verre.

b. La méthode de M. Pouillet, *Traité*, 2e édit., t. II, p. 294, qui consiste en ce qu'il réunit par réflexion sur un même point, au moyen de petits miroirs métalliques, les diverses couleurs d'un même spectre.

c. La méthode de Muschenbroeck, *Introd. ad ph. nat.*, § 1817, qui concentre en un même point les couleurs d'un même prisme par la réflexion sur un grand miroir concave.

d. La méthode qui conduit au même but par l'emploi d'une lentille convergente, Newton, *Optice*, I, prop. v, théor. 4, exp. 10.

e. L'expérience de Newton, dans laquelle on essaie de faire superposer les spectres produits à côté l'un de l'autre par les rayons qui ont traversé plusieurs fentes parallèles, en plaçant ces fentes à une assez grande distance du prisme.

3. Les rayons de diverses couleurs homogènes séparés et devenus divergents sont de nouveau rendus parallèles :

a. Complétement, au moyen de deux prismes égaux, dont les angles sont tournés en sens contraires, et produisent l'effet d'un milieu unique à faces parallèles.

b. Complétement, en regardant subjectivement le spectre objectif projeté sur un écran à travers un second prisme égal au premier, et dont l'angle réfringent est tourné du même côté, Newton, Optice, t. II, prop. v, exp. 11, ou en regardant le spectre à travers le prisme qui l'a produit (*Théorie des couleurs*, par Gœthe, I, 8, 136).

c. Incomplétement, à l'aide de prismes ou de lentilles achromatiques et de lentilles composées de diverses sortes de verres.

d. Incomplétement, au moyen d'oculaires achromatiques à l'aide desquels l'effet d'une lentille biconvexe est produit par deux lentilles formées d'une même sorte de verre et placées à distance.

La troisième méthode se distingue de la seconde, en ce que dans la seconde l'achromasie n'a lieu qu'au point d'intersection des rayons, tandis que dans la troisième méthode, elle a lieu partout où l'on reçoit la lumière émergente.

Digitized by Google

Les mêmes méthodes s'appliquent également aux couleurs produites par la polarisation.

A la première méthode correspond exactement le phénomène d'un espace blanc, résultant de la superposition partielle des deux images d'une ouverture laissant passer de la lumière polarisée, images que le prisme biréfringent n'a pas complétement séparée, et dont les bords apparaissent teints des couleurs complémentaires les plus vives, quand on interpose une lame de gypse, ou chaux sulfatée. Ce phénomène se reproduit de la même manière, mais plus compliqué, dans les quatre images d'une ouverture donnant passage à de la lumière ordinaire, réfléchie ensuite totalement à la seconde surface d'un prisme de cristal de roche, et que l'on analyse à son émergence, au moyen d'un prisme de Nicol, après avoir interposé une feuille de gypse.

A la seconde méthode appartiennent tous les cas où, des quatre images produites par double réfraction, deux images complémentaires se superposent, après avoir été réellement séparées. On réalise cette expérience très-facilement, en plaçant deux fentes longitudinales de même grandeur devant un cristal à double réfraction, de telle sorte que les deux images les plus voisines du centre se recouvrent exactement. Quand on fait passer à travers une feuille de gypse de la lumière polarisée et qu'on la reçoit sur un cône creux, qui polariserait dans toutes les directions la lumière ordinaire incidente, parallèlement à son axe, la lumière concentrée dans un point de l'axe est blanche. Ce phénomène est analogue au phénomène du blanc prismatique, qui se présente dans le miroir concave.

Si l'on considère la troisième méthode d'achromasie prismatique comme consistant essentiellement en ce qu'on fait disparaître les couleurs produites par un certain appareil, en soumettant de nouveau ces couleurs produites à l'action du même appareil, mais placé en sens inverse, l'expérience suivante, sur les couleurs complémentaires, trouvera sa place dans la troisième classe.

La lumière parfaitement polarisée par réflexion sur une glace traverse d'abord un verre trempé, et ensuite deux piles de glaces. Le plan de réfraction de l'une de ces piles coïncide avec le plan de réflexion du miroir polariseur, tandis que le plan de réfraction de l'autre pile

Digitized by Google

est perpendiculaire à ce plan. Si chacun de ces deux appareils analyseurs est également incliné sur le rayon incident, de telle sorte que chacun communique le même degré de polarisation à un rayon non polarisé, le verre trempé paraît sans aucune couleur. Mais au moindre changement de l'un ou de l'autre de ces appareils, soit par inclinaison, soit par addition d'une nouvelle glace de verre, on voit naître les images complémentaires, soit d'un côté, soit d'un autre, selon la prépondérance de l'un des appareils analyseurs sur l'autre. Cette disposition fournit un moyen simple de comparer l'effet de deux appareils de polarisation fondés sur la simple réfraction, et de démontrer les théorèmes de Brewster sur les relations qui lient la polarisation produite avec le nombre des plaques, leur pouvoir réfringent, l'angle sous lequel tombe le rayon de lumière.

II. *Reproduction du blanc par la superposition des couleurs objectives et subjectives.*

Sur le bouton brillant d'un kaléïdophone on fait tomber la lumière d'une bougie, et l'on règle la lumière du jour en fermant peu à peu le volet, de telle sorte qu'il se produise, à coté du point lumineux jaune-orangé donné par la réflexion de la bougie, un point lumineux de la même intensité et formé de la lumière blanche du jour. On imprime ensuite à la tige qui porte le bouton un mouvement oscillatoire, et l'on obtient de cette manière deux lignes lumineuses parfaitement égales, l'une de couleur objective orange, l'autre de couleur subjective bleue brillante.

Le point d'intersection des deux courbes ne semble pas, à M. Dove, complétement blanc, non plus qu'à M. Plateau, auquel M. Dove a montré il y a plusieurs années cette expérience.

III. *Reproduction du blanc par des couleurs complémentaires sur la rétine des deux yeux.*

Sur les côtés ou planchettes latérales d'un stéréoscope, on pratique deux ouvertures circulaires qui se superposent quand on les regarde dans les glaces de l'instrument non étamées. Devant chacune des glaces on place une feuille de mica d'égale épaisseur, et on l'ob-

Digitized by Google

serve à travers deux prismes de Nicol dont les plans de polarisation sont perpendiculaires l'un à l'autre. De cette manière, en fermant l'œil gauche, on voit avec l'œil droit la couleur complémentaire de celle qu'on voyait avec l'œil gauche quand on fermait l'œil droit. En regardant avec les deux yeux, l'ouverture apparaît incolore. On ne parvient pas, sans stéréoscope, à faire superposer les deux images colorées d'un verre trempé, séparées par les deux prismes de Nicol, lorsque le verre était placé en face d'un miroir polariseur.

IV. *Reproduction du gris par l'absorption, au moyen de verres colorés.*

Quand, par l'absorption régulière des différentes portions du spectre, on essaie d'obtenir de la lumière, on peut prevoir, *à priori*, que la lumière résultante sera d'un blanc sale. En combinant deux verres seulement, on n'obtient jamais un résultat satisfaisant; mais on y arrive sans peine par la combinaison d'un verre vert-bleuâtre avec un verre jaune et un verre violet. Pendant le jour, la lumière transmise n'offre aucune couleur, alors même que la coloration de chacun des verres est très-intense, tandis qu'avec la lumière d'une lampe elle apparaît colorée en vert sale. Comme le spectre de la lampe diffère du spectre de la lumière blanche du jour, il est très-naturel qu'une combinaison incolore, quand la lumière qui l'éclaire est blanche, cesse de l'être quand on emploie une lumière colorée.

V. *Sur la production du blanc au moyen des couleurs complémentaires, et sur les phénomènes auxquels donne naissance la lumière polarisée quand on fait tourner son plan de polarisation*, par M. Dove.

PRODUCTION DU BLANC PAR ROTATION.

Quoique la répartition des couleurs prismatiques sur les secteurs d'un cercle provienne de Newton lui-même (*Optice*, prop. VI, probl. 2), qui fonda sur cette construction la méthode connue sous le nom de règle de Newton, pour déterminer la couleur résultante d'un mélange de nuances primitives dont la qualité et la quantité sont données, il paraît, cependant, que c'est vers 1762 seulement que Scopoli et Muschenbroeck eurent d'abord l'idée d'imprimer au

Digitized by Google

cercle à secteurs colorés un mouvement de rotation pour rendre sensible à l'œil les résultats donnés par le calcul. Voigt, dans ses recherches sur la lumière colorée, les couleurs et leur mélange, et Lüdicke, dans ses expériences très-complètes sur la combinaison des couleurs prismatiques, ont examiné d'une manière très-détaillée toutes les combinaisons possibles.

Plus tard M. Plateau a montré que deux couleurs qui doivent produire une nuance intermédiaire doivent être réparties sur des secteurs inégaux, afin que l'impression plus faible de la couleur moins vive soit compensée par une plus longue durée. Comme il est impossible de reproduire, au moyen de substances colorantes, les couleurs homogènes du spectre, le blanc qui résulte de la combinaison ne sera jamais pur.

Von Münchow a obtenu le premier un blanc très-pur en imprimant à un prisme un mouvement alternatif de rotation ou un mouvement circulaire de va-et-vient, et en recevant le spectre qui se balance de droite à gauche ou de gauche à droite sur un mur ou écran blanc. On arrive à peu près au même résultat, c'est-à-dire qu'on obtient un centre blanc entouré de bords colorés des nuances-limites, le rouge et le violet, en faisant tourner un prisme sur son axe. Cette modification du procédé de Münchow a été, dit-on, indiquée par M. Steinheil. Pour empêcher la réflexion totale, il faut que l'une des surfaces du prisme soit dépolie et noircie.

Depuis que M. Brewster, par l'analyse prismatique du vert du premier ordre, a démontré que ce vert donne un tout autre spectre que celui du vert des plantes, et depuis qu'il a étendu ces mêmes recherches sur les spectres d'absorption à 150 milieux colorés, l'hypothèse de Newton, que les couleurs naturelles sont des couleurs d'interférence, peut être regardée comme fausse en général, quoiqu'il puisse arriver qu'elle se vérifie dans quelques cas particuliers. De fait, l'analyse prismatique des couleurs de polarisation produites par des feuilles de gypse, telle qu'elle a été faite par Müller, ne reproduit aucun des spectres connus appartenant à des milieux transparents. Il est donc peu probable que l'on puisse reproduire les anneaux complémentaires des anneaux de Newton au moyen de substances colorantes. Mais il est très-intéressant de démontrer que les couleurs, dont

Digitized by Google

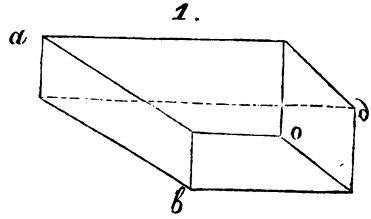
la théorie a mis rigoureusement en évidence le caractère complémentaire, vues rapidement au même point de l'espace, produisent en nous la sensation du blanc.

Pour réussir dans cette curieuse expérience, M. Dove a fait choix des couleurs nées de la polarisation, parce que leur variété infinie, la multiplicité de leurs combinaisons et la vivacité de leurs couleurs les rendent éminemment propres à la production de ce genre de phénomènes.

Puisque la lumière ordinaire, ou non polarisée, se montre douée des mêmes propriétés physiques dans tous les plans passant par le rayon, tandis qu'au contraire la lumière polarisée apparaît affectée, dans ces différents plans, de modifications différentes, qui atteignent leur maximum dans deux directions rectangulaires, et diminuent peu à peu dans les directions intermédiaires, il était naturel de demander comment un rayon de lumière polarisée se comporterait, si l'on imprimait un mouvement de rotation rapide à son plan de polarisation. La réponse expérimentale à cette question a mis en évidence une foule de phénomènes qui démontrent, d'une manière frappante, diverses propositions d'optique déduites seulement jusqu'ici de considérations théoriques.

Au prisme à trois pas de son appareil de polarisation, fig. 1, qui

1.



se compose essentiellement d'un seul morceau de verre, dans lequel les plans parallèles a d et b c sont perpendiculaires aux plans également parallèles a c et b d, tandis que le plan a b forme avec le plan a d, et le plan c d avec le plan b d, un angle de 45°.

M. Dove ajoute deux supports de même hauteur que les premiers, portant dans des anneaux circulaires fixes deux poulies creuses que l'on peut faire tourner rapidement, au moyen de courroies portant

Digitized by Google

sur les tourillons d'un appareil de rotation. Ces deux poulies, d'ailleurs, peuvent tourner dans le même sens ou en sens contraire ; il suffit pour cela de croiser ou non la courroie qui transmet le mouvement. On peut fixer à ces poulies mobiles, et des deux côtés, des prismes de Nicol, des lamelles de mica douées de la polarisation circulaire, ou des plaques polies de cristal. La lentille convergente de l'appareil est placée de telle sorte qu'elle concentre toujours la lumière d'un bec d'argent ou d'une lampe monochromatique, sur le polarisateur, que celui-ci soit fixe ou en mouvement. Par cette disposition donc, que l'on peut varier à l'infini, M. Dove pouvait faire tourner rapidement dans le même sens ou en sens contraire le polarisateur simple ou composé, ainsi que l'analyseur de l'appareil de polarisation, sans cesser d'éclairer et d'observer. L'expérience a donné les résultats suivants :

1° La lumière, qui se montre complétement polarisée quand le prisme de Nicol est immobile, reprend tous les caractères de la lumière naturelle, quand le prisme tourne très-rapidement sans l'analyseur; en examinant alors le rayon avec le prisme doublement réfringent qui sert d'analyseur, et que l'on fait tourner lentement, on voit que les deux images conservent constamment le même éclat dans toutes les directions.

La coloration en teintes complémentaires, produite par les lames de sulfate de chaux, de mica ou de quarz, ajoutées au prisme de Nicol, s'évanouit complétement pendant la rotation.

2° Les systèmes d'anneaux produits par des lames de spath calcaire ou d'apophyllite taillées perpendiculairement à l'axe, les brillantes courbes isochromatiques données par les lames de nitrate de potasse, d'arragonite, de topaze, etc., taillées perpendiculairement à la ligne qui divise en deux parties égales l'angle des axes optiques, etc., etc., se décolorent entièrement; il en est de même des couleurs des verres trempés et comprimés. Les anneaux colorés qui apparaissent au centre de la plaque de cristal de roche, quand on tourne lentement le polarisateur, sont complétement incolores quand le mouvement devient très-rapide.

3° On peut s'assurer directement, que malgré la rotation rapide, le rayon ne cesse pas d'être polarisé, et que les courbes colorées ne

Digitized by Google

cessent pas d'exister réellement. Il suffit, pour cela, de mettre à la place de la lampe une bouteille de Leyde, qui se décharge spontanément ; le prisme de Nicol, qui tournait dans l'obscurité, n'est alors éclairé que pendant un instant indivisible, et par là, comme on le sait, l'effet de la rotation se trouve détruit.

Faisons, en passant, une remarque importante.

Si l'on fait qu'un rayon complétement polarisé par réflexion traverse d'abord un verre trempé, puis deux piles de glaces tellement disposées que le plan de réfraction de l'une coïncide avec le plan de réflexion du miroir polarisateur, tandis que le plan de réfraction de l'autre occupe une position rectangulaire, les couleurs produites par le verre trempé disparaissent complétement, et le verre apparaît complétement incolore, si les inclinaisons des deux piles analysantes sur le rayon sont telles qu'elles communiqueraient le même degré de polarisation au rayon incident ordinaire. La plus petite déviation dans la direction des piles teint de couleurs complémentaires le fond incolore. On entre ainsi en possession d'un moyen très-simple de comparer, sous le rapport de l'effet produit, l'énergie des divers appareils de polarisation, et de prouver, comme l'a fait M. Brewster, que la polarisation est dépendante du nombre des plaques, de leur pouvoir réfringent et de l'angle d'incidence du rayon.

4° Les lignes d'interférence de teinte uniforme qui se manifestent quand on substitue à la lumière ordinaire une lumière monochromatique disparaissent aussi dans la rotation. Si, à l'aide d'un verre coloré en rouge par le cobalt, on sépare, dans le système d'anneaux produits par un cristal à deux axes, les anneaux rouges des violets, quand, pendant la rotation, on les éclaire par une lumière composée quelconque, que ce soient les axes rouges qui fassent le plus petit angle, comme dans le nitrate de potasse, ou les axes violets, comme dans le carbonate de plomb, les deux systèmes d'anneaux disparaîtront.

5° Les phénomènes demeurent les mêmes, si la lumière qui sort de l'appareil linéairement polarisant, doué de mouvement rotatoire, est circulairement ou elliptiquement analysée.

6° La même chose a lieu, si l'on place devant le prisme de Nicol, en rotation, une feuille de mica polarisant circulairement sous un azimut de 45°.

Digitized by Google

7° En faisant tomber la lumière qui sort du prisme de Nicol en rotation sur un miroir métallique, elle se comporte, après la réflexion, comme de la lumière ordinaire.

8° Les systèmes d'anneaux qui se manifestent dans une lame de spath calcaire, lorsque la rotation du prisme de Nicol est lente, se neutralisent quand la rotation est plus rapide, et reproduisent du blanc.

9° Les cristaux jumeaux donnent naissance à des phénomènes de couleurs très-complexes; ils sont surtout très-remarquablement beaux dans des lames de spath calcaire taillées perpendiculairement aux axes des cristaux individuels dont elles se composent. M. Dove a imité artificiellement les effets produits par ces combinaisons en plaçant une lame de mica, d'une épaisseur déterminée, entre deux plaques bien centrées (*Annales de Poggendorff*, vol. 35, p. 594).

Si l'on fait tourner une plaque de cristal jumeau naturel, après qu'elle a été bien centrée par rapport à l'axe de rotation, les effets se neutralisent, et il en résulte du blanc : au contraire, pendant qu'une plaque simple tourne entre les deux prismes de Nicol immobiles, le système des anneaux demeure invariable.

Le centrage des prismes de Nicol doit se faire de manière à ce que l'on ne puisse pas voir alternativement au delà de la ligne-limite de l'espace clair et sombre. Dans les tourmalines, ce centrage n'a pas besoin d'être si exact.

10° Si la vitesse de rotation, pendant chaque révolution entière, augmente ou diminue d'une manière continue, alors les phénomènes sont ceux que présente de la lumière partiellement polarisée. Le plan de polarisation de cette lumière se trouve dans la direction du minimum de la vitesse.

11° En polarisant linéairement, par réflexion, la lumière qui tombe sur un prisme de Nicol en rotation, le rayon qui sort du prisme paraît partiellement polarisé dans le plan primitif. La raison en est facile à trouver.

Si l'on place le prisme analyseur de Nicol de manière à ce que l'on voie les anneaux réfléchis de Newton traversés par une croix noire avant que la rotation commence, la clarté diminue d'une manière continue jusqu'à ce que la rotation ait atteint 90°, et devient nulle, de telle sorte que l'on ne voit plus du tout le système d'anneaux avec la croix blanche. Si la rotation devient plus vive, l'on revoit le système d'anneaux avec la croix noire.

Digitized by Google

12° Il ressort de l'expérience suivante que c'est bien là la cause du phénomène. Si l'on polarise circulairement la lumière qui tombe sur un prisme de Nicol en rotation, on obtient le phénomène de la lumière sortant sans être polarisée, tandis que, si la lumière incidente est elliptiquement polarisée, on obtient le phénomène de la lumière partiellement, quoique faiblement polarisée. Dans le premier cas, l'on peut admettre que la lumière circulaire se compose de deux faisceaux d'une intensité égale, qui sont polarisés perpendiculairement l'un à l'autre, et qui, dans leur marche, diffèrent d'un quart d'ondulation. Dans le dernier cas, on peut considérer le rayon comme composé de lumière circulairement et linéairement polarisée.

Les expériences que nous venons d'énumérer servent coume d'introduction à une série intéressante d'apparences produites par la combinaison des phénomènes qui, dans la rotation, n'ont pas pour effet la production de la lumière blanche, mais qui donnent naissance à de la lumière circulairement, elliptiquement et rectilignement polarisée, combinée en proportion plus ou moins grande avec de la lumière ordinaire.

13° Si l'on fait tourner à la fois avec la même vitesse, mais en sens contraire, le polarisateur et l'analyseur, on voit apparaître le système d'anneaux que l'on obtiendrait si, en repos, ils étaient placés, l'un par rapport à l'autre, dans l'azimut de 45°. Ces apparences sont surtout visibles quand on emploie la lumière monochromatique de la lampe à alcool salé. La raison de ces phénomènes saute aux yeux quand on considère que, si l'on fait tourner une seule des pièces, l'analyseur ou le polarisateur, les branches blanches de la croix occupent deux fois, dans une rotation entière, la même position que les branches noires, et que, par conséquent, les lignes sombres d'interférence doivent, dans les mêmes positions, se changer deux fois en lignes brillantes. Si, au contraire, on fait tourner en sens opposé les deux parties de l'appareil, le système d'anneaux à croix blanche coïncidera avec les points 0°, 90°, 180°, 270°, tandis que le système d'anneaux à croix noire correspondra aux points 45°, 135°, 225°, 315°. Et puisque les bras brillants de la croix blanche coïncident avec l'espace coloré qui sépare les bras noirs, les impressions produites s'ajouteront, et l'on verra naître ainsi le phénomène décrit. Si

Digitized by Google

la vitesse de rotation des deux poulies est rigoureusement la même, la figure paraît fixe; elle semble, au contraire, tourner lentement, si les vitesses de rotation sont quelque peu inégales.

14° Si l'on fait tourner avec des vitesses égales, mais dans le même sens, le polarisateur et l'analyseur, le système linéaire d'anneaux se change en celui que l'on obtient quand on soumet à l'analyse circulaire un rayon doué de la polarisation circulaire et sans rotation. Si les prismes de Nicol, avant la rotation, étaient placés de manière à faire apparaître la croix noire dans le spath calcaire, on verrait, pendant la rotation, les anneaux réfléchis de Newton à centre obscur sans croix; si, au contraire, à l'état de repos, on voyait la croix blanche, la rotation ferait naître les anneaux réfractés de Newton à centre blanc.

Si les vitesses de rotation de l'analyseur et du polarisateur ne sont pas égales, l'œil verra apparaître tour à tour, à intervalles égaux, les anneaux réfléchis à centre noir, et les anneaux réfractés à centre blanc.

15° Si l'on fait tourner un appareil à polarisation circulaire en sens contraire de l'analyseur linéaire, on obtient, mais dans un degré plus faible, les mêmes apparences que si l'on avait fait tourner un polarisateur linéaire en sens contraire de l'analyseur linéaire.

16° Si l'on fait tourner le polarisateur circulaire en laissant immobile l'analyseur linéaire, on obtient, mais déplacés d'un quadrant, à peu près les mêmes anneaux que l'on avait eus sans la rotation.

17° Si on laisse immobile le polarisateur circulaire et qu'on fasse tourner l'analyseur linéaire, on obtient un système d'anneaux pâles, sans croix, avec un centre gris environné d'un cercle noir. Le sens de la rotation est indifférent.

18° Si l'on fait tourner le polarisateur circulaire dans le même sens que le polarisateur linéaire, on retrouve, mais affaiblie, l'apparence produite quand on faisait tourner dans le même sens un polarisateur et un analyseur linéaires; si les vitesses de rotation ne sont pas égales, on voit les systèmes d'anneaux alternants (14°).

19° Si, au contraire, on fait tourner, dans le même sens ou en sens contraire, un polarisateur et un analyseur circulaires, le mouvement n'influe en aucune manière sur le phénomène produit, qui reste absolument le même que si l'appareil était en repos.

20° Si, entre les prismes de Nicol en repos, on insère une lame de

Digitized by Google

mica polarisant circulairement dans un azimut de 45°, et que cette lame reste immobile pendant que le prisme polarisateur tourne, les systèmes d'anneaux produits par les cristaux à un ou à deux axes, ou le cristal de roche, et observés à l'analyseur linéaire ou circulaire, se neutralisent et donnent du blanc.

21° Si, entre les prismes de Nicol immobiles, on fait tourner la lame de mica, polarisant circulairement dans l'azimut de 45°, on obtient, pour effet résultant, les phénomènes connus de polarisation elliptique circulaire et rectiligne; avec l'analyseur linéaire, les phénomènes de la lumière partiellement polarisée rectilignement ; avec l'analyseur circulaire, les phénomènes produits par un mélange de lumière ordinaire et de lumière polarisée circulairement, c'est-à-dire que l'on obtient, dans le premier cas, le système d'anneaux à croix noire; dans le second, le même système, déplacé d'un quadrant, mais affaibli.

22° Des verres trempés tournant entre deux prismes de Nicol fixes ne se neutralisent pas en reproduisant du blanc.

Dans toutes les expériences qui précèdent, les prismes de Nicol avant la rotation étaient croisés.

Il est si difficile, avec l'aide d'une courroie, de faire tourner dans le même sens ou en sens contraire, deux lames de mica ou deux prismes de Nicol, que, dans les expériences, soit quand les plaques de mica doivent rester immobiles pendant que les prismes tournent dans le même sens ou en sens contraire, soit quand les prismes doivent rester fixes pendant que les lames tournent, la position des prismes ou des lames est toujours quelque peu changée, de sorte que les phénomènes de la polarisation elliptique viennent compliquer ceux de la polarisation circulaire. Pour ce genre d'expériences, il faudrait employer des roues dentées.

VI. — *Sur la dépolarisation de la lumière*, par H. W. Dove.

Quand la lumière solaire tombe à travers une ouverture sur une surface parfaitement polie, on aperçoit la partie éclairée de cette surface non-seulement dans la direction du plan de réflexion, mais encore dans d'autres directions. Pendant que la plus grande partie de la lumière est réfléchie dans le plan de l'incidence, une autre portion

Digitized by Google

est dispersée dans les autres plans. Dans l'étude qu'il a faite de cette lumière dispersée, M. Arago a démontré qu'elle est toujours polarisée dans le plan dans lequel l'œil l'aperçoit. Mais quand la lumière ordinaire tombe perpendiculairement sur une surface rude, par exemple, sur un mur blanc, elle est dispersée irrégulièrement dans toutes les directions, sans être régulièrement réfléchie vers aucune, et elle ne présente aucune trace de polarisation, la polarisation ne se présentant que peu à peu et à mesure que l'angle d'incidence diminue.

La lumière dispersée par une surface polie diffère donc essentiellement de la lumière dispersée par une surface rude. Si l'on recouvre la surface rude d'une surface transparente et polie, cette différence se manifeste très-distinctement.

En regardant, par exemple, une peinture couverte d'un vernis brillant à travers un prisme de Nicol, l'éclat du vernis disparaît et la peinture apparaît très-nettement dans toutes les directions. La même différence des surfaces polies et rudes se manifeste dans leurs propriétés dépolarisantes. On entend par dépolarisation le retour de la lumière polarisée à l'état de lumière ordinaire.

La lumière rectilignement polarisée, qui tombe perpendiculairement sur une surface rude, par exemple, sur un mur blanc ou sur une feuille de papier, est parfaitement dépolarisée. Ce phénomène se produit de la manière la plus simple : quand on fait tomber sur une semblable surface les spectres perpendiculairement polarisés l'un sur l'autre du cristal de roche, et quand on analyse ensuite par un prisme de Nicol le rouge-pourpre qui résulte de l'empiétement de l'extrémité violette de l'un des spectres sur l'extrémité rouge de l'autre, dans la rotation du prisme, on n'observe aucun changement de couleur. Cette dépolarisation se manifeste de la même manière ou au moins avec la même intensité sur la surface inférieure rude de corps couverts d'une couche polie. Elle s'étend à la lumière circulairement ou elliptiquement polarisée, quand l'incidence des rayons est normale. Mais, si le corps qui reçoit la lumière est un miroir transparent ou non transparent, une glace, un miroir noir ou un miroir plan métallique, la lumière qui se disperse en tombant sur les surfaces n'est complétement dépolarisée dans aucune direction.

D'après la loi de la réciprocité, il résulte que, quand la lumière

Digitized by Google

ordinaire qui tombe sur un corps à double réfraction est divisée en deux faisceaux égaux de lumière polarisée dans deux plans perpendiculaires l'un sur l'autre, l'ensemble de ces deux faisceaux doit produire de la lumière dépolarisée. Là-dessus, tous les physiciens sont d'accord, mais ils ne le sont plus sur la question relative à l'idée que l'on doit se faire de la lumière naturelle. Sir D. Brewster suppose que dans la lumière polarisée les directions des ondulations se trouvent dans un seul plan; que dans la lumière partiellement polarisée, ces directions se trouvent dans deux plans formant entre eux un angle aigu; enfin, que dans la lumière naturelle les directions des ondulations se trouvent dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre. D'après la plupart des physiciens, il se trouve dans la lumière naturelle un nombre égal de directions d'ondulations dans tous les plans que l'on peut mener par le rayon; dans la lumière partiellement polarisée, un nombre inégal; enfin, dans la lumière polarisée, toutes les directions d'ondulations coïncident en un seul et même plan. En partant de cette dernière hypothèse, M. Dove a essayé de produire de la lumière naturelle de la manière suivante :

On taillait dans une plaque de verre de 4 lignes d'épaisseur sur 3 pouces de diamètre un cône concave dont la petite section circulaire avait 4 lignes de diamètre, et la grande section circulaire 17 lignes de diamètre : autour du bord des sections circulaires, les bases du verre étaient dépolies et noircies. La grande section circulaire était couverte d'une surface de verre sur laquelle on avait fixé une feuille circulaire d'étain de 14 lignes de diamètre, de manière que son centre tombât dans l'axe du cône tronqué. L'angle au sommet du cône était de 70° 10′. Si on tourne cet appareil du côté du soleil, de sorte que les rayons tombent perpendiculairement sur la base du cône, ces rayons entreront dans l'espace annulaire compris entre la feuille d'étain et la couche noircie de la plaque, et tomberont sur la surface réfléchissante du cône, en formant avec elle un angle de 30° 25′. Donc ces rayons seront polarisés dans tous les plans de réflexion tangents à la surface du cône, et se croiseront après la réflexion dans un point de l'axe. Ce point coïncide exactement dans l'appareil ci-dessus décrit, et exécuté par M. Oertling, avec le centre de la petite ouverture du cône, et on le rend visible, en le recevant sur un écran ou surface blanche de papier. Là, en vertu de

Digitized by Google

l'action dépolarisante connue de la surface rude du papier, la lumière devait être dépolarisée et il restait à s'assurer par l'examen de la lumière incidente, qu'elle arrivait elle-même dépolarisée. M. Dove obtenait ce résultat en polarisant la lumière qui tombait sur le cône, au moyen d'une pile de glaces ou verres plans, et en entreposant une feuille de mica entre la pile et le cône. Le point lumineux restait parfaitement incolore.

Sur la polarisation elliptique de M. Dale.

Ce mémoire est relatif à quelques faits nouveaux que M. Dale a observés dans la polarisation elliptique et qui lui ont paru indiquer l'élément physique sur lequel repose l'action différente des métaux sur la lumière, dans leur comparaison avec les substances transparentes en général. Nous rappelerons ici ces faits en peu de mots. D'abord, les métaux et les sulfures métalliques n'ont pas d'angle de polarisation complète pour la lumière ordinaire, et en second lieu un rayon polarisé dans un plan devient polarisé elliptiquement après la réflexion sur leur surface, tandis qu'il reste polarisé, suivant un plan, après la réflexion sur le verre et les autres corps semblables. On a fait naturellement des efforts pour expliquer ces phénomènes d'après les principes de la théorie des ondes, et toujours, à ce qu'il paraît, en supposant que les lois de la réflexion sur les corps transparents non cristallisés étaient données constamment et rigoureusement par les formules de Fresnel, tandis qu'il fallait une loi nouvelle et distincte pour la réflexion métallique. C'est ainsi qu'on supposait que les deux classes de phénomènes étaient brusquement séparées sans aucun lien intermédiaire propre à les rattacher entre elles. Il est vrai qu'on sait depuis longtemps que plusieurs substances transparentes ou translucides n'ont pas d'angle de polarisation complète. Ainsi M. Biot, *Traité de physique*, IV, 288, a excepté le souffre et le diamant, et sir John Herschel, *Opt. art.*, 485 et 831, exclut de la règle générale, indépendamment des métaux, les substances qui ont un éclat adamantin, expression appliquée, dans le système de cristallographie de M. Mohs, à divers minéraux dont il sera question plus loin et qui ressemblent aux métaux sous un autre rapport. Nous ne savons pas qu'aucun autre auteur, M. Green excepté, *Transact. phil. de Cambridge*, vol. VII,

Digitized by Google

ait établi que cette règle était générale pour toutes les substances ayant un indice élevé de réfraction ; et il était important de rappeler ce fait expérimental, à cause de sa coïncidence et de son harmonie avec les nouveaux résultats que M. Dale fait connaître.

Ce résultat consiste en ceci: que ces mêmes substances, éminemment réfringentes, ressemblent aussi aux métaux sous un autre rapport, c'est-à-dire qu'elles communiquent la polarisation elliptique à un rayon polarisé dans un plan, quand elles le réfléchissent. On remarquera que la liste suivante des substances chez lesquelles cette propriété a été observée renferme la plupart de celles placées en tête du tableau de M. Brewster, relatif aux indices de réfraction : Indigo, remarquable en ce qu'il possède un éclat métallique sans contenir de traces de métal; réalgar artificiel; diamant, on a expérimenté sur trois échantillons; sulfure de zinc en cristaux transparents; verre d'antimoine, translucide; soufre fondu sur une feuille polie de zinc; tungstate de chaux, transparent; carbonate de plomb, en cristaux transparents, et limpide comme du verre; hyacinthe ou zircon, translucide; acide arsénieux; grenat; idocrase; helvine; labrador; hornblend.

Dans cette liste, les cinq dernières substances ne possèdent la propriété dont il s'agit qu'à un très-faible dégré. Le moyen d'épreuve dans ces différents cas a consisté dans la dislocation des anneaux d'une plaque de spath, et l'on s'est servi pour cela d'un excellent échantillon, capable de présenter huit à neuf anneaux rouges; enfin, toutes les expériences ont été faites à la lumière d'une bougie, ce qui est indispensable.

Peut-être aura-t-on une confiance plus grande dans ces résultats, quand nous dirons que tous les échantillons soumis par M. Dale à l'examen de M. Powell ont été reconnus par lui, à l'aide d'un instrument différent, posséder l'action énoncée, et que, d'après les observations qu'il a publiées, on peut citer encore quelques autres corps opaques qui confirment le résultat général, tels que le chromate de plomb, la litharge, la plombagine et l'encre de Chine.

La conclusion générale de ces faits paraît être, 1° que, dans une théorie mathématique parfaite de la réflexion, les deux cas doivent être embrassés dans un même système de formules, dans lesquelles quelques termes ou coefficients doivent être extrêmement petits, excepté

Digitized by Google

lorsque l'indice de réfraction est très-grand ; 2° que, *rigoureusement* parlant, il n'y a pas de substances qui polarisent *complétement* la lumière sous aucun angle, mais que la portion de lumière non modifiée est trop faible pour affecter l'œil, lorsque l'indice de réfraction est au-dessous d'une certaine limite ; 3° que la lumière polarisée suivant un plan devient toujours polarisée elliptiquement, mais que la différence virtuelle de marche des deux vibrations composantes, parallèle et perpendiculaire au plan de réflexion, est infiniment petite, excepté lorsque l'indice de réfraction surpasse une certaine valeur plus grande que les indices de réfraction du feldspath et du saphir, que M. Dale a remarqué ne pas produire de dislocation dans les anneaux.

Une chose digne d'intérêt, c'est que ces formules ont déjà, il y a quelque temps, été déduites d'une analyse très-profonde due à M. Green et insérée dans les *Transact. phil. de Cambridge*, vol. VII, mais dont le résultat ne paraît pas avoir beaucoup attiré l'attention. Aujourd'hui, cependant, qu'elles paraissent avoir reçu une confirmation générale inattendue, il est fort à désirer qu'elles soient comparées avec les résultats numériques des expériences de sir David Brewster et de M. Powell.

M. Green adopte, en partie, comme base de son calcul, l'opinion originale de Fresnel, savoir, que les vibrations d'un rayon polarisé sont perpendiculaires au plan de polarisation ; mais comme ce point a été un sujet de discussion parmi les géomètres, M. Dale propose une méthode expérimentale à l'aide de laquelle on pourrait, il le pense, décider la question indépendamment de toute théorie. Cette méthode consiste dans l'observation de la déviation des franges produites par deux faisceaux de lumière polarisés dans le même plan, lors de l'interposition sur leur direction d'un morceau de verre comprimé. Il faut construire cet appareil de la manière suivante : on prend une bande bien pure de verre, de 4 à 5 pouces de longueur sur un demi-pouce de largeur, et l'on polit avec le plus grand soin ses faces les plus étroites ou les longs côtés étroits du parallélipipède, en les rendant autant que possible bien plans et parallèles l'un à l'autre, au moins dans leur partie moyenne, à travers laquelle la lumière doit passer. Ce verre doit être assez bien recuit et assez exempt de stries pour permettre la formation des franges par l'interférence des faisceaux qui

Digitized by Google

l'ont traversé. Alors on se procure un cadre de bois ou de métal, avec vis propre à le comprimer en son milieu; un semblable appareil a été déjà employé par MM. Brewster, Pouillet et autres, pour démontrer que le verre, sous l'influence de la pression, possède la double réfraction, et l'on procède alors à l'expérience elle-même.

Supposons maintenant que les dispositions aient été faites dans une chambre noire, pour produire l'interférence de deux rayons lumineux qu'il faut polariser dans le même plan, en leur faisant traverser, par exemple, une même plaque de tourmaline. On réussirait mieux peut-être en employant la disposition de Fresnel, dans laquelle un rayon delié est réfléchi sur deux plaques de verre légèrement inclinées, pourvu que la lumière tombât sous l'angle de polarisation du verre. Pour plus de clarté, supposons que les deux foyers ou foyers virtuels sont verticalement l'un au-dessus de l'autre, que le plan de polarisation est vertical et que le verre interposé suivant sa longueur est horizontal. Alors, dans son état naturel, il ne produira aucun déplacement des franges, si l'on opère rigoureusement ainsi qu'on l'a décrit. Les élasticités sur ses parois convexe et concave sont différentes sous ce rapport, savoir, que les molécules sont dilatées ou comprimées *parallèlement à la longueur du verre*, tandis qu'il y a peu ou pas d'altération dans l'élasticité suivant un plan perpendiculaire à la longueur du verre. Par conséquent, si les vibrations des deux faisceaux polarisés s'exécutent réellement perpendiculairement au plan de polarisation ou parallèlement à la longueur du verre, par suite de la disposition arrêtée ci-dessus, ils se propageront avec des vitesses différentes, et les franges seront déplacées parallèlement à la longueur du verre dans une direction qu'on pourrait déduire de quelques principes posés par sir David Brewster, mais qu'il est inutile de reproduire pour le but actuel. Si au contraire, d'un autre côté, les vibrations s'exécutent dans le plan de polarisation ou perpendiculairement à la dimension longitudinale du verre, alors les deux rayons traverseront le verre avec une vitesse presque ou même entièrement égale, et les franges ne seront pas déplacées du tout, ou du moins le seront à un degré infiniment moindre que dans le cas précédent.

Nous sommes vraiment étonné d'entendre M. Dale exprimer le regret de ce qu'une théorie générale n'ait pas groupé dans un même ensemble les faits relatifs à la polarisation produite par la réflexion

Digitized by Google

à la surface des diverses substances métalliques ou non métalliques, transparentes ou opaques, peu réfringentes ou très-réfringentes : il y a plus de dix ans que cette théorie complète a été donnée par M. Cauchy ; il y a plus de dix ans que l'illustre géomètre français a donné les formules générales tant desirées par M. Dale, et qu'il a démontré que ces formules ne se réduisent à celles de Fresnel qu'autant qu'on égale à zéro un coefficient très-petit qui n'est pas nul, même quand il s'agit des corps transparents. L'on en concluait que le rayon réfléchi à la surface d'un milieu, quel qu'il fût, n'était jamais rigoureusement polarisé dans un plan, de telle sorte que la lumière réfléchie rectilignement polarisée était une chimère ou une sorte d'équilibre instable, physiquement impossible. M. Jamin, comme nous le verrons tout à l'heure, a retrouvé expérimentalement tous les résultats prévus *à priori* et calculés par M. Cauchy ; les différences de phase données par l'expérience et qui constituent la polarisation elliptique sont exactement celles données par la théorie. Venir après cela donner à M. Green tous les honneurs d'une découverte faite depuis longtemps, c'est se rendre coupable envers la France d'une grande injustice.

Sur certains cas de polarisation elliptique de la lumière par réflexion, par M. POWELL.

En partant du principe étudié par Fresnel, savoir, que la lumière polarisée change de plan de polarisation dans l'acte de la réflexion, d'après une certaine loi dépendante de l'incidence, dans le cas où le milieu est transparent, et de l'extension d'une loi semblable à la réflexion sur la seconde surface du milieu, extension due à sir David Brewster (*Philos. trans.*, 1830, p. 143), M. Powell établit quelques formules qui expriment assez complétement les phénomènes variés observés par lui (*Philos. trans.*, 1841) dans la réflexion de la lumière polarisée sur des lames minces, et les phénomènes analogues étudiés il y a longtemps par MM. Airy et Arago. Ce sujet délicat a été ramené aux premiers principes de la théorie ondulatoire par M. Lloyd (*Rapport de l'Assoc. britann.*, 1844), qui signala en même temps un autre résultat théorique, savoir, que, par suite de la différence de phase ou du retard produit dans les deux portions suivant

Digitized by Google

lesquelles se partage la lumière réfléchie, la lumière polarisée réfléchie par une plaque mince devient en général polarisée elliptiquement.

Il est certain cependant que, dans un grand nombre de cas et pour beaucoup de plaques minces examinées par M. Powell, on ne découvre dans le rayon réfléchi aucune trace de polarisation elliptique. Du verre décomposé à sa surface et donnant de fort belles teintes ne produit pas d'ellipticité, excepté dans la circonstance où il arrive à posséder un éclat décidément *métallique*. De la vapeur d'eau condensée sur du verre soufflé de la manière décrite par sir D. Brewster, l'essence de térébenthine, l'huile de cassia, etc., placées entre deux plaques de verre dont l'une, la plaque supérieure, est légèrement prismatique pour séparer les rayons réfléchis, ne laissent pas non plus apparaître la polarisation elliptique. La théorie a donc besoin de quelques nouvelles modifications pour exprimer les conditions sous lesquelles cette polarisation devient sensible.

Il y a, sans aucun doute, un grand nombre de cas de plaques minces dans lesquelles la polarisation elliptique se produit, comme avec les pellicules formées sur des plaques métalliques, suivant la méthode de Nobili, ainsi que par la chaleur, ou encore sous l'action du laminoir. Mais dans ces cas élémentaires on comprend parfaitement le mode d'action produite : dans le premier cas, elle est due à l'énorme pouvoir réfringent, et dans le second, à la structure cristalline. Dans le cas de l'encre de Chine, observé par M. Powell, la polarisation elliptique apparaît également, que cette encre soit en pellicule mince ou en masse solide, mais elle ne se montre que quand l'encre est parfaitement pure.

Dans les autres cas nombreux observés par M. Dale, il n'y a rien qui puisse donner lieu à la présence de pellicules minces, et la seule condition paraît être un pouvoir réfringent élevé. Alors surgit, dit M. Powell, la question de savoir si les théories que MM. Cauchy et Towey ont établies chacun de leur côté, théories du reste conformes aux faits, n'ont pas résolu complétement cette difficulté ; ces théories s'appuient uniquement sur l'hypothèse simple et très-admissible que les *molécules d'éther* sont, à une faible profondeur de la surface, *distribuées d'une manière non symétrique*. (M. Powell se trompe, M. Cauchy part d'une autre donnée.)

Digitized by Google

On a découvert, dans diverses substances qui ne renferment qu'une faible proportion de métal, et différentes de celles étudiées autrefois par M. Powell, une polarisation elliptique manifeste. Parmi ces substances, on compte le bleu de Prusse, le fer météorique du Cap de Bonne-Espérance, décrit dans les *Transactions philosophiques* de 1839 et 1840, et qui renferme, au plus, 33 pour 100 de protoxyde de fer, de très-petites portions d'oxyde de nickel et de chrôme, et une trace de fer métallique.

Après la lecture du mémoire de M. Powell au sein de l'Association britannique, M. Whewell prit la parole et développa en détail ses vues personnelles sur les conditions nécessaires aux théories mathématiques de la physique optique : elles ne sont pas arrivées jusqu'à nous.

Sir John Herschel exposa les raisons qu'il avait de croire que la méthode proposée par M. Dale pour déterminer expérimentalement les vibrations du rayon polarisé ne saurait être efficace. Il s'appuie surtout sur la propriété singulière dont jouit le quartz de polariser dans le même sens la lumière qui le traverse suivant l'axe, dans une direction ou dans la direction contraire ; et sur les expériences de M. Faraday, relatives à l'action des milieux soumis à l'influence magnétique, lesquels, si le rayon est transmis suivant une direction, le polarisent à droite, et, s'il passe dans la direction opposée, le polarisent à gauche.

M. Stokes croit qu'on peut concevoir une différence de cause physique correspondante à la différence des effets produits. Le cristal de quartz, par exemple, pourrait agir en conséquence d'une structure analogue en quelque sorte à celle d'une vis, laquelle, si l'on regarde son axe dans une direction ou dans la direction opposée, paraît une vis à droite ou à gauche, tandis qu'au contraire les courants en hélice de l'électricité, si on les regarde suivant leur axe dans une direction, auraient une marche circulatoire opposée à celle qu'ils présenteraient si l'on considérait le rayon comme marchant en sens opposé.

Sur les modifications que la réflexion à la surface des cristaux doués de l'opacité métallique fait éprouver à la lumière polarisée, par M. de SÉNARMONT.

Un rayon de lumière polarisée avant l'incidence peut toujours être

Digitized by Google

regardé comme formé de la superposition de deux vibrations rectangulaires, l'une parallèle, l'autre normale au plan d'incidence.

Quand un semblable rayon se réfléchit sur un milieu transparent ordinaire, tout est symétrique autour de la normale et de part et d'autre du plan d'incidence. Les vibrations parallèles et normales à ce plan d'incidence demeurent donc nécessairement parallèles et normales après s'être réfléchies; elles continuent d'ailleurs à vibrer d'accord, puisque le caractère de la polarisation n'a pas changé, et que leur superposition reproduit une vibration rectiligne; mais leurs amplitudes sont généralement diminuées inégalement, et l'azimut de la vibration résultante dépend du rapport de ces diminutions; ce rapport est le seul élément inconnu, et il n'est fonction que de l'incidence.

Ce rapport prend des valeurs remarquables à certaines incidences particulières; il est évidemment égal à l'unité sous l'incidence normale, et, par conséquent, les directions des vibrations incidentes et réfléchies coïncident. Il est égal à zéro sous l'angle de polarisation complète.

Quand le milieu sur lequel la réflexion s'opère est doué de la réflexion métallique, tout est encore symétrique autour de la normale et de part et d'autre du plan d'incidence : on peut donc répéter les mêmes raisonnements; mais ici les vibrations parallèles et normales au plan d'incidence cessent d'être d'accord après s'être réfléchies. La réflexion établit entre elles une différence de phases, puisque le caractère de la polarisation a changé, et que leur superposition reproduit une vibration elliptique. La position et la grandeur relative des axes de l'ellipse dépendent du rapport des diminutions d'amplitude et de la différence de phases produites par la réflexion. Ce sont là, par conséquent, deux éléments inconnus, et qui ne sont encore fonctions que de l'incidence.

Ces éléments prennent des valeurs remarquables à certaines incidences particulières; sous l'incidence normale, la différence de phases est évidemment nulle, et le rapport égal à l'unité; la direction de la vibration réfléchie coïncide, par conséquent, avec celle de la vibration incidente. Sous une incidence particulière, le rapport devient un minimum, en même temps que la différence de phases est égale à un quart.

Digitized by Google

Quand la réflexion s'opère sur un milieu biréfringent transparent, on ne peut plus regarder généralement tout comme symétrique autour de la normale, ni de part et d'autre du plan d'incidence. Les vibrations parallèles et normales à ce plan ne demeurent donc plus généralement parallèles et normales après s'être réfléchies, et chacune d'elle fournira, pour sa part, au rayon réfléchi, une composante parallèle et une composante normale au plan de réflexion; mais toutes ces composantes continuent à vibrer d'accord, puisque le caractère de la polarisation n'a pas changé, et que leur superposition reproduit une vibration rectiligne. L'azimut de cette vibration est déterminé par le rapport des amplitudes des vibrations parallèles et normales au plan de réflexion. C'est le seul élément inconnu; mais ici, cet élément n'est pas seulement fonction de l'incidence, il est encore fonction de l'inclinaison de la face réfléchissante sur les axes du cristal, et, pour une face déterminée, de l'inclinaison du plan d'incidence sur les mêmes axes.

La puissance biréfringente de la matière ajoute ainsi aux phénomènes généraux de la réflexion sur les corps transparents ordinaires quelques propriétés caractéristiques :

1° Une vibration parallèle ou normale au plan d'incidence ne demeure parallèle ou normale, après s'être réfléchie, que pour certaines directions particulières du plan d'incidence;

2° Quand on opère successivement sur la même face, suivant deux directions de ce genre, on trouve, pour une incidence déterminée, des rapports différents entre les diminutions d'amplitudes que la réflexion imprime aux vibrations parallèles et normales au plan d'incidence;

3° Ce rapport passe par zéro à l'incidence de polarisation complète, qui n'est généralement pas la même pour deux directions du plan d'incidence;

4° Sous l'incidence normale, ce rapport est différent de l'unité, et, par conséquent, l'azimut de polarisation du rayon réfléchi se sépare de celui du rayon incident;

5° Ce rapport devient égal à l'unité sous une incidence oblique et seulement pour certaines directions particulières du plan d'incidence; pour cette incidence, l'azimut de polarisation du rayon réfléchi et celui du rayon incident coïncident;

Digitized by Google

6° Enfin, toutes ces choses changent quand on change la face réfléchissante.

Ces propriétés de la lumière réfléchie, qui sont essentiellement liées à la double direction des ondes réfractées, existent-elles encore quand ces ondes se trouvent anéanties à une très-petite profondeur, parce que le milieu réfléchissant a une constitution qui le rend incapable de propager des vibrations intérieures sans les éteindre?

S'il en est ainsi, on doit s'attendre à retrouver dans la lumière réfléchie, sur les cristaux doués de l'opacité métallique, les particularités caractéristiques de la réflexion cristalline, compliquées, il est vrai, des propriétés particulières à la réflexion métallique, c'est-à-dire, à la différence de phases qu'elle établit entre les vibrations parallèles et normales au plan d'incidence.

Ainsi les vibrations parallèles et normales au plan d'incidence ne devront demeurer parallèles ou normales après la réflexion, que pour certaines directions particulières du plan d'incidence.

En opérant successivement dans ces directions, on doit trouver que, pour une incidence donnée, le rapport des diminutions d'amplitudes des vibrations parallèles et normales au plan d'incidence diffère ainsi que leur différence de phases.

Cette différence de phases sera égale à un quart sous une incidence qui, généralement, ne sera pas la même pour deux directions du plan d'incidence.

Sous l'incidence normale, deux vibrations rectangulaires n'éprouveront pas la même diminution d'amplitudes, et la réflexion séparera les directions de la vibration réfléchie et de la vibration incidente.

Le rapport des diminutions d'amplitudes sera égal à l'unité sous une incidence oblique, et seulement pour certaines directions particulières du plan d'incidence.

J'ai annoncé depuis longtemps qu'une partie de ces phénomènes se réalisait quand on faisait réfléchir la lumière polarisée sur le sulfate d'antimoine; mais, comme les différences sont assez petites, je m'étais borné à constater le fait sans donner de mesures. L'expérience présentait, en effet, des difficultés particulières, à cause de l'imperfection des surfaces réfléchissantes, de l'extrême allongement des ellipses de polarisation, et, par-dessus tout, du grand pouvoir

Digitized by Google

dispersif de la matière, qui fait naître des décompositions de couleurs.

Toutes ces circonstances et la petitesse des quantités qu'il s'agit d'apprécier jetteraient d'ailleurs des doutes sur des résultats qui n'auraient d'autre fondement que des nombres ou des mesures, et il s'agissait de trouver un procédé expérimental qui, imprimant un caractère spécial à chaque particularité du phénomène, fournît en réalité un mode sensible de démonstration, autant qu'un moyen de mesure.

Après avoir essayé un grand nombre de méthodes, j'ai fini par adopter la suivante, qui me paraît convenir au but que je m'étais proposé :

La lumière polarisée traverse une plaque composée de deux quartz perpendiculaires à l'axe, d'égale épaisseur et de rotations inverses; chacun d'eux occupe la moitié du champ du diaphragme objectif. Le faisceau incident, composé de deux moitiés ainsi modifiées en sens contraire, se réfléchit sur le miroir métallique, puis est analysé par un prisme biréfringent; les deux images produites sont colorées, et généralement mi-partie de deux segments de couleurs différentes. En faisant varier l'azimut de polarisation primitive du rayon incident, on trouve un azimut qui donne la même teinte aux deux segments de l'image ordinaire, un autre azimut qui donne la même teinte aux deux segments de l'image extraordinaire.

Or, les principes de Fresnel permettent de traduire en formules chacune des modifications successives qu'éprouve, sur son trajet, le rayon polarisé incident, et l'on déduit de la discussion de ces formules les conséquences suivantes :

L'angle d'incidence correspondant à une différence de phases égale à un quart est caractérisé par cette circonstance que les images ordinaires et extraordinaires sont, pour un même azimut de polarisation du rayon incident, de teinte uniforme; que cette teinte uniforme des deux images est, à l'intensité près, complémentaire quand l'azimut de la section principale de l'analyseur est égal à zéro degré ou à 90 degrés; que cette teinte est identique de couleur et d'intensité quand cet azimut est égal à 45 degrés; et qu'enfin, pour quatre directions conjuguées deux à deux, l'image ordinaire ou l'i-

Digitized by Google

mage extraordinaire devient sensiblement incolore, l'autre demeurant colorée.

L'angle d'incidence, pour lequel la réflexion diminue dans le même rapport l'amplitude des vibrations parallèle et normale au plan d'incidence, est caractérisé par cette circonstance que les images ordinaire et extraordinaire atteignent en même temps l'uniformité de teintes, mais restent complémentaires de couleur et d'intensité, quel que soit l'azimut correspondant de l'analyseur.

Si, pour toute autre incidence et pour un azimut déterminé de l'analyseur, on mesure successivement les deux azimuts de polarisation du rayon incident, qui donnent la même teinte aux deux segments de l'image ordinaire, puis de l'image extraordinaire, on pourra, au moyen de ces trois angles mesurés, calculer la différence de phases et le rapport des diminutions d'amplitudes que la réflexion a imprimées aux deux portions dú rayon réfléchi, qui vibrent parallèlement et normalement au plan d'incidence.

Dans cette manière d'opérer, toutes les particularités caractéristiques du mouvement vibratoire qu'il s'agit de saisir dans le rayon réfléchi se manifestent par des phénomènes de couleurs. Si, tout égal d'ailleurs, ces particularités changent avec la direction du plan d'incidence par rapport aux axes du cristal, ces couleurs changeront elles-mêmes ; c'est là une épreuve nette et décisive à laquelle il est impossible de se tromper et dont les résultats ne peuvent laisser aucun doute.

Ceci posé, on établit la face de clivage d'un cristal de sulfure d'antimoine, de manière qu'elle tourne dans son propre plan, et l'on peut ainsi, sans rien changer aux rayons incident et réfléchi, étudier ce rayon réfléchi pour toutes les directions de l'axe du cristal par rapport au plan d'incidence. Au moyen des caractères que l'on vient d'énoncer, on reconnaîtra facilement :

1° Que l'angle correspondant à une différence de phases égale à un quart est de 78° 1/2, ou de 76° 2/3, selon que le plan d'incidence est parallèle ou normal à l'axe du cristal, et que le rapport des diminutions d'amplitudes correspondant à ces angles est respectivement de 0,15 et de 0,16′ ;

2° Que sous l'angle d'incidence de 20 à 21 degrés, le rapport des

Digitized by Google

diminutions d'amplitudes est égal à l'unité, quand le plan d'incidence est parallèle à l'axe ;

3° Que, sous l'incidence normale, les azimuts de polarisation des rayons incidents et réfléchis se séparent, et que le rapport des diminutions d'amplitudes qu'éprouvent, dans l'acte de la réflexion, les vibrations parallèles et normales à l'axe, est de 1,062 ;

4° Que toutes les fois que le plan d'incidence n'est pas parallèle ou normal à l'axe du cristal, un rayon incident polarisé parallèlement et normalement à ce plan d'incidence cesse, après s'être réfléchi, d'être polarisé parallèlement ou normalement ; que cette déviation très-sensible est accompagnée de décomposition de couleur, et que très-probablement le rayon réfléchi prend une polarisation elliptique ;

5° Qu'enfin le rapport des diminutions d'amplitudes et la différence de phases que la réflexion, sous une incidence déterminée, imprime aux vibrations parallèles et normales au plan d'incidence varient avec la direction du plan d'incidence par rapport à l'axe du cristal, et que cette variation atteint son maximum quand le plan d'incidence passe de la direction parallèle à l'axe à la direction perpendiculaire.

Les analogies qui se trouvent ainsi établies entre les cristaux biréfringents, opaques et transparents, sont plus intimes encore, quand, au lieu d'opérer sur des corps d'une réfringence moyenne, comme le spath calcaire, on soumet à l'observation des cristaux fortement réfringents, comme le protochlorure de mercure. La lumière réfléchie se trouve aussi, dans ce cas, polarisée elliptiquement, et les phénomènes ne diffèrent de ceux que produisent les cristaux à reflet métallique que parce qu'ils sont infiniment moins prononcés. Ils se prêtent, par conséquent, difficilement aux mesures, mais sont toujours reconnaissables aux mêmes caractères.

Nous regrettons que M. de Sénarmont en employant la plaque à deux rotations, n'ait pas dit que M. Soleil en était l'inventeur ; on pourrait croire en lisant sa note qu'il a eu le premier l'idée de cet ingénieux appareil.

Sur la réflexion métallique, par M. Jamin.

Dans un Mémoire remarquable, publié dans les *Transactions philosophiques* du mois d'avril 1830, sir David Brewster appela

Digitized by Google

l'attention des physiciens sur les phénomènes présentés par la réflexion métallique, et, sans chercher à déterminer la nature des modifications imprimées à la lumière par les métaux, il exécuta des expériences qui lui firent découvrir quelques lois isolées auxquelles il ne donna aucune interprétation théorique. Depuis cette époque, la réflexion métallique devint l'objet d'études suivies : les unes mathématiques, dont nous aurons souvent l'occasion de parler dans la suite ; les autres expérimentales, trop peu nombreuses pour résoudre complétement le problème, laissant souvent à désirer sous le rapport de la précision, et exécutées par des procédés de mesure fort compliqués. C'est dans le but de simplifier les méthodes et d'étendre ces recherches, que j'ai entrepris les expériences suivantes. Avant de les faire connaître, je résumerai les lois les plus simples et les plus générales découvertes par M. Brewster.

1° Si l'on fait réfléchir un nombre quelconque de fois, sur un métal, un rayon polarisé dans les azimuts de 0 degré ou de 90 degrés, il reste toujours polarisé dans le même plan après la réflexion ;

2° Tout rayon qui est, avant la réflexion, polarisé dans un autre azimut, est dépolarisé en partie après avoir subi l'action du métal ;

3° Si l'on fait tomber sur un miroir métallique un faisceau de lumière naturelle, il ne se polarise par la réflexion sous aucune incidence, et il présente, quand on l'examine avec un polariscope, les apparences d'un rayon partiellement polarisé. M. Brewster a remarqué d'ailleurs, et cette observation est importante, qu'il existe une incidence particulière, pour laquelle la proportion de lumière polarisée par réflexion est la plus considérable ; cette incidence a été nommée *angle de polarisation maximum* ;

4° Quand la lumière polarisée est réfléchie plusieurs fois sur des miroirs métalliques parallèles, sous l'incidence du maximum de polarisation, la polarisation est rétablie après un nombre pair de réflexions ;

5° Enfin, le faisceau réfléchi redevient polarisé après un nombre pair ou impair de réflexions sous des incidences nombreuses, déterminées par des lois qui restent à trouver ;

Tout rayon polarisé dans un plan quelconque avant l'incidence, pouvant toujours se décomposer en deux autres polarisés dans les azimuts de 0 degré et de 90 degrés, lesquels, d'après M. Brewster,

Digitized by Google

ne changent pas leur azimut en se réfléchissant, le rayon réfléchi sera toujours formé par la superposition de deux rayons polarisés dans ces azimuts principaux, et son état vibratoire sera connu, si l'on a recherché d'avance les modifiations que subissent en se réfléchissant les rayons composants. La première question que nous devons nous poser est donc celle-ci : chercher les transformations qui s'opèrent, pendant la réflexion, dans des rayons polarisés dans les azimuts principaux.

Or, tout rayon polarisé, qui subit une action quelconque sans perdre sa polarisation et sans changer d'azimut, ne peut éprouver que des changements de phase et des variations d'intensité : nous avons donc à examiner si ces modifications se réalisent, et suivant quelles lois elles se produisent pour deux rayons polarisés, l'un dans l'azimut de 0 degré, et l'autre dans l'azimut de 90 degrés. C'est cette étude que nous allons faire, en commençant par la détermination des intensités.

I. — *Mesure des intensités de la lumière réfléchie par les métaux.*

Si l'on fait tomber sur une lame de verre des rayons polarisés dans les azimuts de 0 degré ou de 90 degrés, les intensités des faisceaux réfléchis seront représentées par les formules suivantes de Fresnel :

$$(1) \qquad J'^2 = \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)}, \qquad I'^2 = \frac{\tang^2(i-r)}{\tang^2(i+r)}.$$

Ces formules, vérifiées par MM. Arago et Brewster, sont aujourd'hui admises par les physiciens ; elles vont nous servir de point de départ pour mesurer les quantités de lumière I^2 et J^2 réfléchies par les métaux : il suffira pour cela de comparer I^2 et I'^2 d'une part, J^2 et J'^2 de l'autre.

Pour faire cette comparaison, plaçons en contact deux lames, l'une de verre, l'autre de métal, de manière que les deux faces polies soient dans le même plan, et que les deux lames constituent une même surface réfléchissante, dont l'une des parties est en verre, l'autre partie en métal, puis faisons réfléchir sur le milieu de cette double lame un rayon polarisé dans le plan d'incidence : l'une des moitiés du rayon sera réfléchie par le verre, l'autre par le métal ;

Digitized by Google

toutes deux resteront polarisées dans l'azimut de 0 degré, et ne donneront qu'une seule image en traversant un prisme biréfringent dont la section principale coïncide avec le plan primitif de polarisation. Mais si nous faisons tourner ce prisme d'un angle β, nous obtiendrons une image ordinaire et une extraordinaire pour chacune des deux portions du faisceau réfléchies par le verre et par le métal ; ce qui fera quatre images dont les intensités seront :

	Métal.	Verre.
O	$J^2\cos^2\beta$	$J'^2\cos^2\beta$
E	$J^2\sin^2\beta$	$J'^2\sin^2\beta$

Quand β varie, les images ordinaires et extraordinaires subissent des changements d'intensité inverses, et il y a toujours une valeur particulière de β qui rend l'image ordinaire du métal égale à l'image extraordinaire du verre.

On a, dans ce cas,

$$J^2\cos^2\beta = J'^2\sin^2\beta ;$$

et, en remplaçant J'^2 par sa valeur tirée des formules de Fresnel,

$$(2) \qquad J^2 = \tang^2\beta \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)}.$$

Si, au contraire, nous cherchons la valeur β' qui rend l'image extraordinaire du métal égale à l'ordinaire du verre, nous obtenons

$$(3) \qquad J^2 = \cot^2\beta' \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)}.$$

L'expérience nous fera connaître β et β' qui devront être complémentaires, et nous calculerons J^2 au moyen des formules (2) et (3).

Il est bien évident, d'ailleurs, que cette méthode est applicable au cas où la lumière est polarisée dans un azimut de 90 degrés ; on déterminera de même l'azimut des teintes égales, et l'on obtiendra

$$(4) \qquad I^2 = \tang^2\beta \frac{\tang^2(i-r)}{\tang^2(i+r)}, \quad I^2 = \cot^2\beta' \frac{\tang^2(i-r)}{\tang^2(i+r)} ;$$

seulement, dans le voisinage de l'angle de polarisation du verre, il n'y aura plus de lumière réfléchie par cette substance, partant point de comparaison possible, et il en résultera une lacune de quelques degrés dans l'expérience.

Ainsi, nous polariserons successivement la lumière dans le plan d'incidence et le plan perpendiculaire, et, pour obtenir la proportion

Digitized by Google

de lumière réfléchie dans chacun de ces deux cas par le miroir métallique, nous ferons tourner l'analyseur jusqu'à ce que deux images de nom contraire, données par les deux substances, soient égales : nous trouverons par deux observations distinctes, qui devront s'accorder, les azimuts β et $90^\circ - \beta$, de la section principale ; et l'intensité de la lumière réfléchie par le métal sera égale à celle qui l'est par le verre, multipliée par la tangente carrée de β.

Cette méthode, qui, au point de vue théorique, est d'une simplicité extrême, ne peut conduire à des résultats exacts que si l'indice de réfraction du verre est parfaitement connu, puisque les intensités I'^2 et J'^2 de la lumière réfléchie par cette substance sont des fonctions de l'incidence et de l'indice de réfraction. Or, on a deux moyens de trouver cette dernière quantité: ils consistent, le premier, à rechercher directement l'indice du verre en le taillant en prisme ; le second, à déterminer l'angle de polarisation i du verre, et à poser $\tang i = n$. Malheureusement, ces deux méthodes ont donné des résultats qui diffèrent d'une quantité notable ; et, pour choisir entre les deux, il faut se rappeler que les formules précédentes ne pourront être employées que si elles sont vraies dans tous les cas particuliers, et que si elles donnent une intensité nulle pour la lumière réfléchie sous l'angle du maximum de polarisation, quand le rayon est polarisé perpendiculairement au plan d'incidence, ce qui exige que l'on ait $\tang i = n$. Il faut donc employer, pour la détermination de l'indice, une méthode qui vérifie les formules (1) ; je me suis arrêté à la suivante.

Les deux formules (1) conduisent à une troisième qui fait connaître l'azimut A' de la lumière réfléchie, quand le rayon incident est polarisé à 45 degrés du plan d'incidence ; cette formule est la suivante :

$$\tang A' = \frac{\cos(i + r)}{\cos(i - r)},$$

relation évidemment vérifiée par la même valeur de n que les précédentes, puisqu'elle en est une conséquence ; et au lieu de la valeur de l'indice de réfraction qui satisfait aux premières, nous pouvons déterminer celle qui convient à la dernière. Nous obtenons successivement :

Digitized by Google

$$\text{tang } A' = \frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)} = \frac{1 - \text{tang } i \text{ tang } r}{1 + \text{tang } i \text{ tang } r},$$

$$\text{tang } i \text{ tang } r = \frac{1 - \text{tang } A'}{1 + \text{tang } A'} = \text{tang } (45 - A').$$

$$(5) \qquad \text{tang } r = \frac{\text{tang } (45 - A')}{\text{tang } i}.$$

Alors, l'azimut de polarisation de la lumière incidente étant de 45 degrés, l'incidence étant i, nous mesurerons A', nous calculerons r au moyen de la formule (5), et n par la relation $n = \frac{\sin i}{\sin r}$. La valeur de i étant arbitraire, nous pourrons opérer sous des incidences nombreuses, et obtenir pour chaque expérience des valeurs de n entre lesquelles nous prendrons les moyennes. Voici les résultats :

Incidences.	Valeurs de n.
80.	1,4909
70.	1,4932
60.	1,4896
50.	1,4949
40.	1,4900
30.	1,4965
Moyenne. . . .	1,4925

Ce résultat ne diffère que de trois centièmes de celui qui est donné par les expériences directes pour l'indice de réfraction du verre; nous l'adopterons pour le calcul des formules (1), et le succès de nos expériences dépendra dorénavant du soin avec lequel seront mesurés les angles i et β. Je vais entrer à ce sujet dans quelques détails.

Un cercle horizontal, porté par un pied en cuivre, supporte un tuyau noirci intérieurement, fixé sur le cercle, dirigé constamment vers le centre et muni à ses deux extrémités de fils croisés, destinés à fixer la direction du rayon incident. Ce tuyau porte un prisme de Nicol qui polarise la lumière, et dont la direction est déterminée par un cercle divisé vertical, établi sur le tuyau. Un second tube qui reçoit le rayon réfléchi se meut autour du cercle; on mesure ses déplacements au moyen d'un vernier, on analyse la lumière réfléchie

Digitized by Google

par un prisme biréfringent placé à son extrémité extérieure, et la direction de la section principale de ce prisme est connue au moyen d'un deuxième cercle vertical fixé sur ce tube mobile. Au centre du cercle horizontal est une table sur laquelle on établit verticalement la double lame dans une position telle, que la ligne de séparation des deux substances repose sur le centre même de l'appareil ; cette table est mobile autour du centre, et une alidade, qui parcourt le limbe du cercle divisé, permet de faire varier et de mesurer les incidences.

La verticalité de la double lame étant une condition indispensable, on cherchait d'abord à la réaliser par les procédés connus ; on la vérifiait ensuite en polarisant la lumière dans les azimuts principaux, en s'assurant que la polarisation demeurait rectiligne après la réflexion sur le métal, et que l'azimut ne changeait pas en faisant tourner de 180 degrés la surface réfléchissante. D'ailleurs, on a toujours fait deux séries d'observations, en plaçant la surface réfléchissante d'abord à la droite, ensuite à la gauche de l'observateur, afin de corriger les erreurs provenant du défaut de verticalité de la double lame.

Les incidences étaient mesurées, et par la déviation du rayon réfléchi et par le déplacement de la lame, l'angle β se déterminait avec une grande précision ; on sait, en effet, avec quelle facilité l'œil reconnaît l'égalité de deux lumières de même teinte, et je me suis assuré qu'un peu d'habitude rendait la sensibilité de cet organe vraiment remarquable ; les résultats des expériences faites dans les mêmes circonstances ne diffèrent jamais de plus de quinze minutes, et, si l'on commet des erreurs plus graves, c'est que les points de repère, soit pour la mesure des incidences, soit pour la position des plans de polarisation, ne s'obtiennent pas toujours avec une aussi grande exactitude. Faisons remarquer, d'ailleurs, que, dans chaque quadrant, il y a deux angles β et $90° - \beta$, qui rendent l'image ordinaire ou extraordinaire du métal égale à l'image extraordinaire ou ordinaire du verre; chaque détermination résulte donc de huit observations.

Dans toutes mes expériences, la lumière était fournie par une lampe Carcel, placée dans une boîte fermée, au foyer d'une lentille qui rendait les rayons parallèles ; de cette manière, les opérations étaient exécutées dans l'obscurité la plus complète : la lumière employée était très-intense, toujours identique à elle-même ; elle était

Digitized by Google

rendue sensiblement homogène par un verre rouge très-épais, choisi avec beaucoup de soin, et qui, laissant passer assez de rayons pour que les observations fussent faciles, diminuait assez son intensité pour que le prisme de Nicol donnât une polarisation parfaite. »

Les expériences de M. Jamin, exécutées avec des lames d'acier et de métal des miroirs bien polies, sont résumées dans une série de tableaux ; on remarque surtout que les intensités de la lumière réfléchie polarisée dans le plan d'incidence varient peu, et qu'elles diminuent progressivement depuis l'incidence de 90 degrés jusqu'à 0 degré.

Si, au contraire, la lumière est polarisée dans l'azimut de 90 degrés, les intensités diminuent depuis l'incidence rasante jusqu'à l'angle de polarisation maximum, et elles augmentent ensuite jusqu'à l'incidence normale.

M. Jamin a pu comparer les nombres résultant de l'expérience avec des nombres donnés par la théorie de M. Cauchy, et qui reproduisent les faits avec une fidélité satisfaisante. Nous avons assez complétement analysé la savante méthode de M. Cauchy pour être dispensé d'y revenir ici. M. Jamin ajoute :

Quelque soin que l'on apporte dans l'exécution des expériences, il me semble impossible d'obtenir entre la théorie et le calcul une concordance plus complète que dans nos tableaux. Les déterminations comportent, en effet, plusieurs causes d'erreurs, dont quelques-unes sont très-graves, auxquelles on ne peut se soustraire complétement, et que la moindre négligence rendrait énormes ; et d'ailleurs, les formules théoriques se calculent au moyen de deux constantes que l'expérience nous donne, et qui sont nécessairement entachées des erreurs qui altèrent tous nos résultats : il est donc difficile d'aspirer à une vérification expérimentale plus complète que celle qui est manifestée par nos tableaux.

II. — *Mesure de la différence de phase.*

Nous avons à nous occuper maintenant de la seconde transformation que la réflexion métallique fait éprouver à la lumière ; je veux parler du déplacement des nœuds de vibration.

Je me suis occupé de cette question dans un cas particulier, et

Digitized by Google

mes expériences, présentées à l'Académie des Sciences, le 13 août 1846, prouvent, 1° que le rayon polarisé perpendiculairement au plan d'incidence est toujours en retard sur le faisceau polarisé dans l'azimut de 0 degré ; 2° que la différence de phase est nulle sous l'incidence de 0 degré ; qu'elle augmente progressivement jusqu'à l'incidence rasante ou de 90 degrés, pour laquelle elle devient égale à une demi-ondulation, et qu'elle prend, sous l'angle de la polarisation maximum, la valeur $\lambda/4$

Cette loi de la variation de phase résulte d'expériences faites sur des oxydes métalliques par un procédé qui n'est pas applicable aux métaux; mais comme ces oxydes et les métaux agissent sur la lumière d'une manière identique, d'après les expériences de M. Brewster, il est incontestable que la différence de phase produite par la réflexion métallique variera dans le même sens entre les limites des incidences. Nous admettrons donc que, pour les métaux, la différence de phase entre les rayons réfléchis, polarisés dans les azimuts principaux, est nulle pour l'incidence normale, et qu'elle augmente progressivement en même temps que l'inclinaison du rayon sur la surface : cette généralisation d'un fait vérifié dans un cas particulier est d'ailleurs conforme aux résultats trouvés par M. de Sénarmont.

En partant de cette loi, je vais, par une méthode nouvelle, trouver la valeur de la différence de phase pour des incidences déterminées ; cette méthode aura l'avantage de n'employer aucun intermédiaire destiné à modifier la phase, et sera, par cette raison, à l'abri des objections que soulèvent les procédés employés jusqu'à présent. Voici comment j'opère :

» Lorsqu'on dirige sur un miroir métallique un faisceau polarisé dans un plan quelconque, on peut toujours le considérer comme formé de deux rayons de même phase, polarisés dans les azimuts de 0 degré et de 90 degrés, azimuts qui ne changeront pas par la réflexion. Si on les fait réfléchir de nouveau un nombre quelconque de fois sur des miroirs de la même substance, parallèles aux premiers, l'angle et le plan d'incidence restant les mêmes, ils subiront à chaque fois la même action de la part du métal, et après 2, 3, 4..., m réflexions, ils auront des différences de phases égales à 2, 3, 4..., m fois celle qu'une seule réflexion leur avait donnée : si donc nous pouvons obtenir les premières, il suffira de les diviser par le nombre de réflexions

Digitized by Google

pour obtenir la seconde; cette détermination sera très-facile dans certains cas particuliers.

Nous savons, en effet, par les expériences de M. Brewster, qu'après avoir été réfléchi plusieurs fois par un métal, le rayon a acquis une polarisation généralement elliptique, mais qui devient rectiligne pour certaines valeurs particulières de l'angle d'incidence; ces valeurs diffèrent avec le nombre des réflexions, et l'expérience montre qu'il y en a une pour 2 réflexions, deux pour 3 réflexions, et, en général, un nombre égal au nombre de réflexions diminué d'une unité. M. Brewster paraît ne pas avoir remarqué cette relation entre le nombre des réflexions et celui des angles de polarisation rétablie ; elle est une conséquence bien simple de la manière dont varie la différence de phase, et on pourra bientôt le reconnaître ; pour le moment, contentons-nous de montrer le parti que l'on peut tirer de ce fait.

Pour que deux rayons polarisés à angle droit, dont les phases diffèrent, puissent, en se réunissant, constituer un faisceau polarisé, il faut que les différences entre leurs phases soient égales à

$$\frac{\lambda}{2}, \quad \text{ou} \quad 2\frac{\lambda}{2}, \quad \text{ou} \quad 3\frac{\lambda}{2}, \ldots.$$

Donc, si la polarisation est devenue rectiligne, après un certain nombre de réflexions effectuées sous la même incidence sur un même métal, c'est que la différence de phase des deux rayons rectangulaires est devenue égale à un multiple d'une demi-ondulation, et toute la question se réduit à trouver ce multiple. Or, cela est très-facile; nous savons, en effet, qu'après une seule réflexion, la différence de phase va en augmentant depuis l'incidence de 0 degré, où elle est nulle jusqu'à celle de 90 degrés: donc, pour l'angle le plus voisin de 0 degré qui rétablira la polarisation après m réflexions, la différence de phase sera le plus petit multiple $\frac{\lambda}{2}$; pour celui qui vient après, $\frac{2\lambda}{2}$; et ainsi de suite jusqu'au plus voisin de 90 degrés, où elle sera $(m-1)\frac{\lambda}{2}$. Alors on aura, pour une seule réflexion sous les mêmes angles, les valeurs suivantes de la différence de phase :

Digitized by Google

$$\frac{1}{m}\frac{\lambda}{2},\ \frac{2}{m}\frac{\lambda}{2},\ \frac{3}{m}\frac{\lambda}{2}\ldots\ \frac{m-1}{m}\frac{\lambda}{2}.$$

Les différences de phases seront exprimées en fonction de $\lambda/2$ par une fraction, n/m, n prenant toutes les valeurs entières depuis 1 jusqu'à $(m-1)$, m représentant le nombre des réflexions. Il résulte de là que, n et m variant, la même valeur de la fraction se reproduira souvent pour des nombres de réflexions différents : ainsi, après 2, 4, 6, 8 réflexions, on aura les valeurs 1/2, 2/4, 3/6, 4/8, de la différence de phase, et par conséquent les angles trouvés de polarisation rétablie devront être sensiblement égaux. Nous obtiendrons ainsi des vérifications nombreuses.

On voit qu'il suffira de mesurer l'incidence de la polarisation rétablie. Quant à la différence de phase, elle ne se mesure pas, elle est connue quand le rayon réfléchi est redevenu polarisé, et que l'on a compté le nombre des réflexions. Il faut d'ailleurs remarquer que l'azimut de polarisation du rayon incident est quelconque ; les incidences observées ne changent pas quand il varie, et l'on placera comme on le voudra le prisme de Nicol polarisant. Si l'on songe qu'il est toujours difficile de mesurer avec précision l'azimut du rayon incident, et que généralement la moindre variation dans sa valeur change les résultats que l'on mesure ; on attachera quelque importance à un procédé qui laisse cette donnée indéterminée, qui n'exige comme condition indispensable que le parallélisme des plaques, qui ne mesure qu'une seule chose, l'angle d'incidence de la polarisation rétablie. Cette simplicité pratique va nous conduire à des résultats d'une grande exactitude.

Pour obtenir les réflexions multiples, il suffira de placer deux miroirs de la substance que l'on veut observer parallèlement vis-à-vis l'un de l'autre ; on fera tomber la lumière sur l'un d'eux, elle se réfléchira sur le second, reviendra sur le premier, etc. Le nombre des réflexions observables ne dépendra évidemment que de la distance des plaques, qui devra pouvoir varier à volonté. La disposition qui m'a paru la plus commode est la suivante : les deux miroirs sont fixés avec de la cire sur deux lames de laiton parallèles et verticales ; la première est fixe, la deuxième est mise en mouvement au moyen d'une vis micrométrique qui la transporte parallèlement à elle-même.

Digitized by Google

On s'assure du parallélisme des miroirs en les amenant au contact, et en voyant si toutes les arêtes coïncident bien exactement. Ce petit appareil est établi sur le centre du cercle divisé, dont je me suis déjà servi; il est placé de manière que la surface polie du miroir immobile passe par le centre du cercle. Après avoir été réfléchi plusieurs fois entre les deux miroirs, le rayon s'échappe dans l'air; mais alors sa direction prolongée ne passe plus par le centre du cercle et ne peut traverser le tuyau mobile dans le sens de son axe. Pour remédier à cet inconvénient, j'ai fait donner à ce tuyau un mouvement de rotation horizontal autour de son support; on peut alors, dans chaque cas, lui donner la direction du rayon définitivement réfléchi. Si les plaques sont suffisamment écartées, on aperçoit les images provenant d'une ou de deux réflexions, et, quand on rapproche les miroirs, ces images disparaissent : on voit successivement celles qui proviennent de réflexions plus nombreuses, et l'on peut facilement en compter le nombre.

La polarisation n'est jamais parfaitement rétablie quand la lumière incidente est blanche. L'inégalité de l'action qu'un métal exerce sur les divers rayons simples du spectre rend les images colorées, et l'on ne peut observer que l'incidence pour laquelle l'image extraordinaire a le minimum d'éclat; mais on remarque que ce minimum correspond exactement à la teinte de passage entre le bleu foncé et le pourpre obscur. Je me suis contenté, dans les expériences sur le plaqué d'argent, d'observer cette teinte de passage, et de prendre, pour l'angle de polarisation rétablie, celui où cette teinte, dans l'image extraordinaire, est minimum. L'expérience montre d'ailleurs qu'elle varie si rapidement de teinte avec la direction de la section principale de l'analyseur, et qu'elle subit, pour l'incidence cherchée, une si grande diminution d'intensité, que les déterminations ne perdent rien de leur netteté, même quand le nombre des réflexions est très-grand. J'ai d'ailleurs fait des observations avec un verre rouge sur des miroirs d'acier, de cuivre et de zinc. »

Les résultats obtenus sont représentés dans des tableaux que l'on trouvera dans le mémoire original; on remarquera que les différences de phases suivent exactement la loi de variation que nous avons déjà reconnue pour les oxydes, et qui a été énoncée précédemment.

Digitized by Google

Non-seulement la théorie de M. Cauchy fait connaître les intensités de la lumière réfléchie, elle démontre encore que deux rayons de même phase avant l'incidence, polarisés dans les azimuts de 0 et de 90 degrés, ont, après avoir subi l'action du métal, une différence de phase δ, variable avec l'incidence, et qu'il apprend à calculer.

L'identité presque complète des résultats théoriques et expérimentaux ne peut laisser aucun doute sur l'exactitude des formules du savant géomètre. Pour mieux faire comprendre que la concordance est aussi complète que possible, nous remarquons que, dans le tableau relatif à l'argent, partout où les fractions m/n ont des valeurs égales, les incidences de polarisation rétablie qui leur correspondent diffèrent entre elles de quantités fort petites, souvent insignifiantes, et toujours inférieures à 30 minutes. Ces différences nous donnent, pour ainsi dire, la mesure des erreurs que l'on peut commettre dans la détermination des angles; et si j'ajoute que les nombres du tableau sont le résultat de trois séries d'expériences effectuées en variant chaque fois l'azimut du rayon incident, on sera convaincu que cette limite d'erreur sera rarement atteinte : d'un autre côté, une erreur de 30 minutes dans la détermination de l'angle en amène une de $\frac{1}{100}$ seulement dans la différence de phase ; nous pouvons donc admettre $\frac{1}{100}$ comme limite probable de l'erreur dans la détermination de la différence de phase. Or, si l'on examine, dans les tableaux précédents, la colonne des différences, on trouve que, dans plus de cinquante observations, il n'y en a que trois qui donnent une différence de 0,08; onze atteignent le chiffre 0,01, et, parmi les autres, beaucoup sont identiques jusqu'aux millièmes : la différence entre le calcul et l'observation est donc limitée aux erreurs reconnues possibles dans l'expérience.

A l'époque où je faisais ces expériences, je ne connaissais pas les formules de M. Cauchy, et, en présentant mes résultats à l'Académie des Sciences, j'avais cherché à les représenter par une formule empirique qui, quoique différant essentiellement de celle de M. Cauchy, donne des résultats numériques sensiblement identiques.

III. — *Analyse de la lumière polarisée elliptiquement.*

Nous avons déjà fait remarquer que la lumière, en se réfléchis-

Digitized by Google

sant sur un métal, ne pouvait éprouver que des changements dans les amplitudes, et des déplacements dans les nœuds de vibration; les formules de M. Cauchy, représentant avec une grande exactitude les lois de ces modifications, résument tous les principes de la réflexion métallique : il nous serait donc permis de laisser au calcul le soin de prévoir les phénomènes qui restent à étudier, s'ils n'étaient intéressants en eux-mêmes, et s'il n'était très-important de vérifier la théorie jusque dans ses conséquences. Dans ce but, nous commencerons par faire réfléchir une seule fois, sur un métal, un faisceau polarisé dans un plan quelconque.

On sait, par les expériences du docteur Brewster, que la lumière cesse d'être polarisée quand elle a subi l'action du métal ; et, d'après la théorie, cette dépolarisation provient de ce que les vibrations des molécules éthérées s'effectuent suivant une ellipse. Nous allons chercher à vérifier expérimentalement cette conséquence.

Pour définir complétement un mouvement oscillatoire elliptique, ce qu'il y a de plus simple à faire, c'est de déterminer la direction des axes et le rapport de leurs longueurs; nous pourrons toujours le faire par le calcul, mais nous le pourrons aussi par l'expérience.

Pour le faire voir, M. Jamin démontre d'abord :

1° Que si l'on fait tomber un faisceau elliptique sur un prisme biréfringent, dont la section principale est parallèle à l'un des axes de la trajectoire, il se décompose en deux rayons dont les phases diffèrent d'un quart d'ondulation, et dont l'un a la plus grande, l'autre la plus petite intensité possible ;

2° Que si la section principale du prisme est inclinée de 45 degrés sur la direction des axes de l'ellipse, les intensités des deux images sont égales.

Ces résultats peuvent maintenant se traduire en expériences. En effet, pour obtenir la position des axes de l'ellipse, il suffira de rechercher la direction de la section principale, qui donne à l'une des images l'intensité la plus grande, et à l'autre l'éclat le plus faible ; et, si nous voulons obtenir le rapport des longueurs des axes, il faudra mesurer le rapport des intensités de ces images.

La première de ces questions étant la seule dont je me sois occupé, je vais expliquer comment on peut donner aux expériences une

Digitized by Google

précision suffisante. Il est clair que, dans tous les cas où l'ellipse ne sera pas sensiblement une ligne droite, la différence entre le maximum et le minimum ne sera pas très-sensible, et, par suite, la direction des axes se trouvera difficilement. Mais nous pourrons remplacer cette détermination par une autre, en nous rappelant que l'analyseur étant à 45 degrés de la direction des axes, les deux images sont égales : dès lors nous déterminerons cette dernière direction, et, en augmentant ou en diminuant de 45 degrés l'angle trouvé, nous aurons la position des deux axes.

Mais, pour obtenir des résultats certains, il est absolument nécessaire d'opérer sur une lumière rendue homogène par un verre rouge bien choisi ; autrement les deux images auraient toujours des teintes différentes, et le procédé perdrait toute son exactitude. Remarquons d'ailleurs qu'il existe quatre directions inclinées de 45 degrés sur les axes, et que, pour chaque incidence, nous pourrons déterminer les azimuts de teintes égales ω, $90°+\omega$, $280°+\omega$, $270°+\omega$. Une fois ces directions connues, on aura celles des axes en les augmentant ou diminuant de 45 degrés.

M. Jamin a fait trois séries d'observations sur le métal des miroirs, en polarisant la lumière dans les azimuts de 20° 15′, 46° et 71° 25′ ; les observations répétées plusieurs fois ont toujours donné des nombres concordants entre eux, et les résultats moyens sont complétement d'accord avec la théorie, comme le montrent les tableaux auxquels nous renvoyons.

Non-seulement la direction des axes de l'ellipse est intéressante à connaître en ce qu'elle fournit une vérification des formules théoriques, mais la seule détermination de cette inconnue donne encore le rapport des intensités J^2/I^2 des rayons réfléchis dans les azimuts principaux. Des considérations faciles conduisent en effet à ce résultat d'une simplicité remarquable :

Le rapport des racines carrées des intensités des rayons réfléchis polarisés dans le plan d'incidence et le plan perpendiculaire est égal à la tangente de l'azimut de polarisation du rayon incident pour lequel les deux images sont égales.

Cette méthode ne le cède en exactitude à aucune de celles que nous avons déjà décrites ; elle n'emploie, en effet, aucun corps

Digitized by Google

intermédiaire, n'exige qu'une seule réflexion ; elle permet l'emploi d'une lumière simple, ce qui nous met à l'abri des erreurs provenant de l'inégale réfrangibilité des rayons qui constituent la lumière blanche ; enfin, elle détermine l'angle cherché a, non pas en mesurant l'azimut de polarisation d'un rayon, ce qui est toujours peu sûr, mais l'azimut pour lequel deux teintes sont égales, ce qui est infiniment plus exact et plus sensible.

En partant de ces données, M. Jamin calcule le rapport des racines carrées des intensités de la lumière réfléchie J/I.

Il compare ensuite ses recherches à celle de M. de Sénarmont.

Ce physicien fait réfléchir sur le métal un rayon polarisé dans un azimut quelconque ; il le reçoit ensuite sur une lame de mica d'une épaisseur telle, que les deux rayons principaux acquièrent en la traversant une différence de marche égale à un quart d'ondulation, et il place la section principale de cette lame dans une direction ω qui rétablisse la polarisation rectiligne. Il est clair dès lors que l'expérience revient à ceci :

Le rayon, elliptiquement polarisé par le métal, se décompose en deux faisceaux polarisés dans des plans parallèles et perpendiculaires à la section principale de la lame mince : le calcul des intensités et des phases de ces rayons a déjà été effectué précédemment ; leur différence de marche est connue.

En traversant la lame mince, ces deux rayons acquièrent, par suite de l'épaisseur traversée, une nouvelle différence de phase égale à un quart d'ondulation ou à 90 degrés, qui s'ajoute à la première ou s'en retranche. Or, pour que la polarisation soit rétablie, il faut que la somme obtenue soit nulle ou égale à 180 degrés ; cette détermination revient évidemment à la recherche d'une direction pour laquelle les deux rayons rectangulaires dans lesquels l'ellipse se décompose ont une différence de marche égale à un quart d'ondulation : cette direction est celle de l'un des axes de l'ellipse, et les intensités sont proportionnelles aux longueurs des axes.

Dans les expériences de M. de Sénarmont, la différence de phase étant devenue nulle, et la polarisation étant rétablie par la superposition des deux rayons rectangulaires dont les intensités sont A'^2 et

Digitized by Google

B'^2, l'azimut de la polarisation rétablie est donné par la formule $\tang \beta = A'/B'$.

Ainsi les expériences de M. de Sénarmont mesurent deux azimuts :

1° L'azimut de la section principale de la lame de mica, c'est la direction de l'un des axes de l'ellipse;

2° L'azimut de la polarisation rétablie, et la tangente de cet angle exprime le rapport des longueurs des axes de l'ellipse d'oscillation. Il était utile de faire ressortir la signification théorique de ces deux déterminations, qui définissent complétement le mouvement elliptique des molécules éthérées après la réflexion métallique. Il eût été plus intéressant encore de comparer la théorie aux expériences; malheureusement celles-ci ne paraissent pas suffisamment exactes, des difficultés pratiques, que M. de Sénarmont a lui-même reconnues, altèrent les observations et les rendent même souvent impossibles.

IV. — *Phénomènes présentés par les réflexions multiples.*

Quoique j'aie déjà parlé des réflexions multiples en m'occupant des différences de phases, il reste cependant à montrer que toutes les circonstances de ces expériences sont facilement prévues et calculées; c'est ce que je vais faire en commençant par le cas où les surfaces réfléchissantes sont parallèles.

On se rappelle que plusieurs réflexions en nombre pair ou impair peuvent, sous des incidences déterminées, rétablir la polarisation plane; on se souvient également que, si le rayon incident est polarisé dans un azimut déterminé à la gauche du plan d'incidence, par exemple, le rayon réfléchi redevient polarisé quelquefois à droite, quelquefois à gauche de ce plan; on sait enfin que l'azimut du rayon rétabli est toujours plus petit que celui du rayon incident. Il y a, comme on le voit, trois points à examiner dans ce phénomène; ce sont :

1° L'incidence pour laquelle la polarisation est rétablie;

2° Le sens de l'azimut du rayon rétabli;

3° La valeur absolue de cet azimut.

Nous les passerons successivement en revue.

1° On pourra toujours calculer les angles pour lesquels, après une simple réflexion, les différences de phases sont

Digitized by Google

$$0, \frac{\pi}{m}, \frac{2\pi}{m}, \frac{3\pi}{m}\ldots, \frac{(m-1)\pi}{m}, \frac{m\pi}{m},$$

En faisant réfléchir la lumière m fois sous ces incidences, les différences de phases seront multipliées par m, et deviendront

$$0, \pi, 2\pi, 3\pi\ldots, m\pi.$$

Il y aura donc $(m+1)$ incidences en y comprenant 0 degré et 90 degrés, ou $(m-1)$ entre ces limites, pour lesquelles la polarisation sera rétablie, et que nous pourrons calculer au moyen des formules théoriques. Observons encore qu'il ne peut y en avoir davantage; car, pour que la polarisation redevienne plane, il faut et il suffit que la différence de phase soit égale à un multiple de π; comme elle varie de 0 à π entre les incidences limites pour une seule réflexion, elle sera comprise entre 0 et $m\pi$ après m réflexions, et l'on ne pourra trouver entre ces nombres que $(m-1)$ multiples de π. Il n'y aura donc que $(m-1)$ angles de polarisation rétablie entre 0 degré et 90 degrés. Ces conséquences théoriques vérifient exactement les faits, le premier point est donc complétement traité.

2° Il ne sera pas difficile de prévoir le sens des azimuts de polarisation.

Après m réflexions, quand la polarisation sera rétablie, les phases des deux composantes différeront d'un multiple de demi-ondulation: si ce multiple est pair, la différence est d'un nombre entier d'ondulations; les vibrations sont dans le même cas que si elle était nulle, elles sont concordantes comme avant la réflexion; dans ce cas, le rayon restauré sera polarisé du même côté du plan d'incidence que le rayon incident.

Si le multiple est impair, les vibrations composantes ont une différence de marche définitive d'une demi-ondulation; elles sont discordantes: le sens de sa polarisation aura donc changé.

Ainsi, pour des angles qui, après m réflexions, donneront entre les rayons principaux des différences de marche égales à

$$0, \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2}, \frac{6\lambda}{2}\ldots,$$

le rayon restauré sera polarisé à droite du plan d'incidence, si le rayon incident l'était à droite. Mais si les différences sont

Digitized by Google

$$\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}\ldots,$$

le plan de polarisation rétablie sera à gauche du plan d'incidence.

Par conséquent, pour l'angle le plus voisin de 0, la polarisation sera rétablie à gauche; pour celui qui vient après, à droite; et ainsi de suite alternativement jusqu'au dernier.

Il est bon de remarquer que ces deux données, l'angle qui rétablit la polarisation et le sens de l'azimut du rayon restauré, ne dépendent absolument que de la différence de phase des rayons polarisés dans les plans principaux. Nous verrons bientôt que l'azimut du rayon restauré ne dépend que de leur intensité.

3° Le rayon incident étant toujours polarisé dans l'azimut $(90 - a)$, il se décompose en deux autres, dont les amplitudes sont $\cos a$ et $\sin a$; après une première réflexion, elles sont devenues

$I \cos a$, vibration dans le plan d'incidence,

$J \sin a$, vibration perpendiculaire.

Une deuxième réflexion leur fera subir des changements proportionnels; elles deviendront

$$I^2 \cos a, \quad J^2 \sin a.$$

Elles seront enfin, après m réflexions,

$$I^m \cos a, \quad J^m \sin a.$$

Et si la polarisation est rétablie sous une certaine incidence, la cotangente de l'azimut de vibration, ou, ce qui revient au même, la tangente de l'azimut de polarisation rétablie, sera exprimée par le rapport de la vibration dans le plan d'incidence à la vibration perpendiculaire, et l'on aura

$$\text{cotang}\, x = \frac{I^m \cos a}{J^m \sin a} = \left(\frac{I}{J}\right)^m \text{cotang}\, a.$$

Ainsi, pour obtenir, après m réflexions, la tangente de la polarisation rétablie sous un angle donné, il faudra calculer, pour cette incidence, le rapport $\frac{I}{J}$, élever ce rapport à la puissance m, et le multiplier par la tangente de l'azimut du rayon incident.

Revenons sur une remarque que nous avons déjà faite : l'incidence de la polarisation rétablie ne dépend que de la différence de

Digitized by Google

phases; l'azimut, que du rapport des intensités. On ne peut trop attacher d'importance à ce phénomène de la polarisation rétablie, qui est le résultat de deux modifications de la lumière : un changement de phase et une modification des amplitudes, dans lequel on a deux choses à mesurer, une incidence et un azimut, lesquels sont des fonctions séparées de la différence de phase et du rapport des intensités des rayons principaux; de sorte que l'observation des incidences nous a servi pour déterminer les phases, et que celle des azimuts pourrait conduire, si nous n'avions d'autres moyens, à la recherche du rapport des intensités. Ce phénomène suffirait donc pour trouver tous les éléments de la réflexion métallique.

Les expériences de M. Brewster vérifient les conséquences de la théorie pour le cas particulier où l'incidence est celle de la polarisation maximum; je renverrai, à ce sujet, au Mémoire de M. de Sénarmont. J'ai cru devoir faire de nouvelles expériences sur un métal dont il n'a pas encore été question, le cuivre, déterminer à la fois les incidences et les azimuts de polarisation rétablie pour tous les nombres de réflexions possibles, et calculer théoriquement les résultats. Quoique l'on pût être sûr d'avance de trouver d'accord l'expérience et le calcul, cette dernière vérification n'était pas inutile : elle a été tout-à-fait satisfaisante.

Les dernières expériences que nous ayons à examiner sont celles dans lesquelles les deux plans d'incidence font entre eux un angle déterminé ω. M. Brewster faisait réfléchir la lumière sur la première surface, sous un angle déterminé et constant, puis il cherchait, par l'expérience, l'incidence sous laquelle il fallait faire réfléchir la lumière sur la deuxième lame pour que la polarisation fût rétablie : ce sont ces expériences que M. Brewster a représentées par un procédé empirique, très-ingénieux sans doute, mais dépourvu de toute signification (les compléments des angles d'incidence sur la deuxième surface étaient égalés aux rayons vecteurs d'une ellipse); il ne sera pas inutile de montrer que, dans ce dernier cas encore, la théorie est parfaitement d'accord avec les faits.

Un rayon incident polarisé dans l'azimut $(90° - a)$ se réfléchit sur la première plaque métallique sous une incidence déterminée; il donne, après la réflexion, deux faisceaux polarisés dans les azi-

Digitized by Google

muts principaux. Ces deux faisceaux tombent sur la deuxième surface dont le plan d'incidence fait un angle ω avec le premier; ils donnent naissance à deux autres, polarisés dans les plans principaux de la nouvelle plaque, et la différence de phase de ces rayons sera exprimée, avant la réflexion sur la deuxième lame, par une formule assez simple. Nous avons ainsi décomposé le rayon qui a été réfléchi, une première fois, en deux faisceaux polarisés dans les plans principaux de la deuxième surface réfléchissante; ils ont, avant la réflexion, une différence de marche $(\delta' - \delta'')$, et, par l'acte de la deuxième réflexion, ils acquièrent une nouvelle différence de phase δ''', qui s'ajoute à la première et donne une somme $\delta' - \delta'' + \delta'''$. Pour que le rayon soit alors rectilignement polarisé, il faut et il suffit que $\delta' - \delta'' + \delta''' = \pi$, ce qui donne $\delta''' = \pi - (\delta' - \delta'')$. On calculera, par les formules, quel est l'angle d'incidence sur la deuxième surface qui pourra produire cette différence de phase, et il restera à comparer l'expérience au calcul.

Cette comparaison a été faite pour deux tableaux extraits du Mémoire de M. Brewster, pages 304 et suiv. (*Transactions philosophiques*, année 1830). On trouve, entre le calcul et l'observation, des différences peu sensibles, si l'on fait attention à la difficulté que l'on doit éprouver pour mesurer exactement les azimuts et les incidences, dans des expériences aussi compliquées.

Sur la couleur des métaux, par M. J. Jamin.

Lorsque Newton eut reconnu aux lames minces la propriété de décomposer la lumière blanche, il assimila au phénomène des anneaux celui de la coloration des corps, et imagina de l'expliquer en supposant que les substances colorées réfléchissent la lumière, non-seulement à leur surface, mais aussi à une certaine profondeur. Cette théorie, aussi ingénieuse qu'elle était vague, et qui avait besoin d'être précisée ou combattue, n'a reçu jusqu'à présent aucun développement, et l'importante question de la coloration des corps par réflexion n'a fait aucun progrès; toutefois, si les travaux des physiciens n'ont pas eu pour but direct de la résoudre, ils ont pour conséquence de l'avoir beaucoup simplifiée.

Digitized by Google

Fresnel, se bornant au cas des substances transparentes, traita le problème de la réflexion à leur surface, et fit connaître des formules qui expriment la quantité de lumière réfléchie en fonction d'une seule donnée, l'indice de réfraction de la substance. On aurait pu alors se proposer de calculer, au moyen de ces formules, les intensités réfléchies des diverses lumières simples du spectre, en donnant successivement à l'indice de réfraction les diverses valeurs qui correspondent à ces lumières, et déterminer, par le cercle chromatique de Newton, la teinte du faisceau réfléchi; mais comme les indices éprouvent des variations très-faibles depuis le rouge jusqu'au violet, on aurait trouvé que les proportions des rayons simples dans la lumière réfléchie sont sensiblement les mêmes que dans la lumière blanche. Ce résultat, que l'expérience vérifie, eût été dans le cas des corps transparents d'un intérêt médiocre; mais, en suivant la même marche pour les métaux, on arrive à expliquer d'une manière complète leur coloration, quand ils ont réfléchi un nombre quelconque de fois la lumière blanche : c'est ce que je me propose de montrer dans ce Mémoire.

Les intensités de la lumière réfléchie par les métaux se calculent au moyen de formules théoriques qui ont été trouvées parfaitement conformes à l'expérience, et dans lesquelles entrent comme constantes deux quantités qui se lient à des phénomènes nombreux de polarisation métallique, au moyen desquels on peut les déterminer. Ces constantes sont ; 1° l'incidence de la polarisation rétablie après deux réflexions sur des miroirs parallèles ; 2° l'azimut de polarisation du rayon réfléchi sous cette incidence, quand l'azimut primitif est égal à 45 degrés.

Nous sommes donc obligés de déterminer ces deux constantes, en faisant successivement réfléchir sur les métaux les rayons principaux du spectre : cette détermination exige quelques détails dans lesquels nous allons entrer.

Quand deux vibrations concordantes, dirigées dans les azimuts principaux, rencontrent un miroir métallique sous diverses inclinaisons, elles acquièrent des différences de phase diminuant depuis l'incidence rasante jusqu'à la réflexion normale, et prenant, sous l'inci-

ue nous voulons déterminer, la valeur d'un quart d'ondula-

Digitized by Google

tion. Il est donc évident que cette différence de phase deviendra 2/4, 4/4, 6/4, etc., d'ondulation, après 2, 4, 6,... réflexions; et par conséquent, un rayon polarisé primitivement dans un azimut quelconque reproduira, après un nombre pair de réflexions, un rayon polarisé rectilignement sous l'incidence principale qui pourra être déterminée d'après cette propriété.

Appelons a l'azimut de polarisation du rayon incident, que nous décomposerons, dans les azimuts de 90 et 0 degrés, en deux faisceaux polarisés, dont les amplitudes seront sin a et cos a; lorsque ces deux faisceaux se réfléchiront sur un métal sous l'incidence principale, le rapport de leurs amplitudes, se multipliant à chaque réflexion par un facteur constant k, deviendra, après 2, 4, 6,... réflexions,

$$k^2 \text{ tang } a, \quad k^4 \text{ tang } a, \quad k^6 \text{ tang } a, \ldots;$$

et comme les phases de ces faisceaux sont égales, à une différence près, à un nombre exact de demi-ondulations, ils se réuniront en un rayon rectilignement polarisé, dans des azimuts x', x'', x''', représentés en valeurs absolues par les formules

$$\text{tang } x' = k^2 \text{ tang } a, \quad \text{tang } x'' = k^4 \text{ tang } a, \ldots$$

On connaît a; on mesurera x', x'', x''', et l'on tirera de ces formules les valeurs de k^2, k^4, k^6, qui serviront à trouver k.

En résumé, la méthode d'expérimentation se réduira :

1° A polariser le rayon simple sur lequel on veut opérer, dans un azimut quelconque a;

2° A chercher l'incidence commune sous laquelle la polarisation sera rétablie après 2, 4, 6,... réflexions, et l'on obtiendra la première constante;

3° A mesurer les azimuts x', x'', x''', qui permettront de calculer la deuxième constante k, que nous représenterons dorénavant par tang A.

Il nous reste à faire connaître le détail des expériences et les précautions à prendre. L'appareil employé se compose :

1° D'un cercle divisé horizontal, porté sur un pied;

2° D'un premier tube fixé au cercle et dirigé vers son centre : il porte un prisme de Nicol, qui polarise la lumière;

3° D'un second tube tournant autour du centre, et muni d'un

Digitized by Google

cercle divisé vertical, qui sert à mesurer, au moyen d'un prisme biréfringent, l'azimut du rayon réfléchi;

4° D'une table métallique placée au centre de l'appareil; elle porte une alidade qui mesure ses déplacements sur le cercle divisé;

5° Sur cette table sont établies deux lames métalliques verticales sur lesquelles on place les miroirs; elles peuvent se rapprocher ou s'éloigner à volonté, pour déterminer entre les miroirs des réflexions plus ou moins nombreuses.

Les directions des sections principales étant bien déterminées, j'ai polarisé la lumière dans un azimut $+a$, et déterminé les incidences et les azimuts de polarisation rétablie pour 2, 4 et 6 réflexions, en inclinant les miroirs sur le rayon, d'abord vers la droite, ensuite vers la gauche; ce qui change le signe des erreurs amenées dans les déterminations par un défaut de verticalité des lames, ou une mauvaise détermination du zéro des incidences. J'ai obtenu ainsi six observations des constantes. En second lieu, comme il pouvait se faire que le zéro des azimuts eût été imparfaitement fixé, j'ai répété les mêmes observations en polarisant la lumière dans l'azimut $-a$. Les moyennes de ces deux séries d'expériences sont donc sensiblement corrigées des erreurs de détermination des repères.

Le rapport k étant beaucoup plus petit que l'unité pour la plupart des métaux, les azimuts x', x'', x''' décroissent rapidement quand les réflexions se multiplient, et l'erreur commise en les mesurant peut devenir comparable à leur valeur; il faut donc combattre ces décroissements, en donnant à a une valeur voisine de 90 degrés.

L'appareil devant être successivement éclairé par les rayons principaux de la lumière, je préparais un spectre très-pur : on y voyait à l'œil nu un nombre considérable de raies qui servaient de repères; on recevait successivement sur le prisme de Nicol les divers rayons simples; ils se réfléchissaient sur les miroirs, et traversaient le prisme biréfringent. Les réflexions multiples les affaiblissaient assez pour que l'œil en pût supporter l'éclat, et leur grande intensité, réduisant beaucoup l'amplitude des angles où la polarisation paraît complète, assurait la précision des mesures.

M. Jamin réunit en tableaux les observations qu'il a faites sur plusieurs métaux ou alliages, l'argent, le bronze des cloches, l'acier, le zinc et le métal des miroirs, et il en tire les conséquences suivantes:

Digitized by Google

Les incidences de la polarisation rétablie varient pour tous les métaux, avec la réfrangibilité du rayon incident; de plus, elles diminuent du rouge au violet. Dans les substances transparentes, les indices de réfraction, et, par suite, les angles de polarisation augmentent du rouge au violet; dans les métaux, l'angle de la polarisation rétablie est celui où l'on trouve le plus de lumière polarisée dans le plan d'incidence, et quelques-uns d'entre eux se rapprochent tellement des substances transparentes, que la polarisation y est sensiblement complète. Il est donc remarquable que, malgré cette analogie, on voie augmenter l'angle de la polarisation depuis le rouge jusqu'au violet, chez les corps transparents, et diminuer l'incidence de polarisation rétablie chez les métaux. Cette discordance se manifestera-t-elle toujours? C'est ce qu'on ne pourrait affirmer aujourd'hui, et c'est un point qui me paraît appeler l'attention des physiciens.

On peut établir, parmi les métaux, trois classes distinctes, qui ne seront probablement pas les seules quand un plus grand nombre de corps aura été observé.

L'argent, le cuivre, le laiton et le bronze des cloches se caractérisent par la loi suivante:

Quand on passe du rouge au violet, les azimuts diminuent entre des limites inégales; elles diffèrent de 0°,50′ pour l'argent, tandis que cette dispersion comprend un angle de 7°,12′ pour le métal des cloches.

Une deuxième classe de métaux, qui comprend le zinc et l'acier, nous offre une loi tout à fait inverse. Les azimuts de polarisation rétablie augmentent du rouge au violet, entre des limites très-variables, comme dans le cas précédent. Enfin, un métal, le seul que j'aie observé jusqu'ici, participe à la fois des deux catégories précédentes : c'est l'alliage des miroirs. Les azimuts diminuent depuis le rouge jusqu'au vert, et augmentent depuis le vert jusqu'au violet.

La loi qui lie cette deuxième constante à la longueur d'ondulation de la lumière paraît donc très-compliquée, et tout porte à croire que chaque substance conserve sa particularité d'action, tant pour le sens que pour l'étendue des changements qu'éprouve la constante.

J'entreprends maintenant de faire servir les déterminations précé-

Digitized by Google

dentes au calcul de la teinte de chaque métal. Je vais rapidement faire connaître les moyens d'y parvenir.

On se rappelle que plusieurs géomètres ont exprimé par des formules théoriques les lois de la polarisation métallique. J'ai vérifié, par des expériences nombreuses et directes, celles de M. Cauchy ; il est donc permis de les employer à calculer les intensités de la lumière que réfléchissent les métaux, et ce calcul est possible quand on connaît les constantes que nous venons de déterminer. Or, il est bien évident que les constantes variant avec la réfrangibilité du rayon, chaque couleur simple du spectre ne sera pas réfléchie proportionnellement, et que si l'on fait tomber sur un métal un faisceau de lumière blanche, il sera généralement coloré après la réflexion. Nous pourrons calculer les intensités de chaque rayon réfléchi, et la règle chromatique de Newton nous fera connaître la teinte du métal : il nous restera à comparer le calcul à l'observation.

Les formules de M. Cauchy, très-compliquées dans le cas général, conduisent cependant à une discussion dont j'énumérerai les principaux résultats ; ils sont faciles à vérifier.

1° Sous l'incidence rasante, tous les métaux bien polis sont absolument blancs ;

2° Si on les éclaire par une lumière polarisée dans le plan d'incidence, ils ont une teinte propre très-pâle, et confondue dans une proportion dominante de blanc ;

3° Éclairés par une lumière polarisée perpendiculairement au plan d'incidence, ils offrent une teinte plus vive et moins mêlée de blanc;

4° Au cas où l'incidence est normale, la teinte propre du métal, sans être changée dans sa nature, ne varie pas avec l'azimut du rayon incident. Ce dernier cas, le plus simple de tous, est celui que je vais traiter en détail.

Les formules des intensités se réduisent à une grande simplicité. En supposant égale à l'unité l'intensité du rayon incident, elles deviennent

$$I = \tang(\varphi - 45),$$

$$\cotang\,\varphi = \cos 2A \sin 2\left(\arc\tang \frac{I}{\sin i_{,} \tang i_{,}}\right),$$

$i_{,}$ exprime l'incidence de polarisation rétablie ; pour obtenir A, il faut prendre la valeur de k, et poser $k = \tang A$.

Digitized by Google

Nous avons calculé d'après nos expériences, et consigné dans des tableaux, les intensités réfléchies des principaux rayons du spectre après 1 ou 10 réflexions :

En discutant les formules précédentes, on voit que si l'on fait augmenter ou diminuer, séparément ou à la fois, les valeurs des deux constantes, les intensités réfléchies augmentent ou diminuent; et comme il résulte de nos expériences que l'incidence principale reçoit des valeurs peu différentes d'un métal à un autre, tandis que l'azimut de polarisation rétablie éprouve des variations étendues comprises entre 45 degrés et 0 degré, il est permis de dire, d'une manière générale, que les métaux réfléchiront d'autant plus de lumière que cet azimut sera plus grand.

Si l'on formait des miroirs avec les métaux qui ont été soumis à nos expériences, ils réfléchiraient, d'après les tableaux précédents, des proportions très-variables de lumière, et le métal des miroirs, qui, par sa dureté, se prête si bien à la construction des télescopes, est loin de satisfaire aux conditions d'éclat que l'on doit surtout rechercher. Cette remarque montrera que ces instruments recevraient un perfectionnement bien désirable, si l'on pouvait remplacer l'alliage des miroirs par l'argent, qui réfléchit un tiers de lumière de plus. Peut-être serait-il utile de conseiller quelques essais dans le but d'argenter les miroirs par la pile : ils gagneraient de l'éclat, sans être plus altérables; la minceur et l'égalité de l'argenture n'altéreraient point leur courbure, et l'un des plus graves défauts du télescope serait notablement diminué.

Les métaux appartenant à la première des catégories que nous avons établies d'après les propriétés optiques nous offriront des intensités décroissantes depuis le rouge jusqu'au violet, puisque les deux constantes décroissent à la fois entre ces limites; et l'on peut affirmer, d'après cette loi de variation, que ces métaux auront une teinte voisine du rouge. Nous la trouvons, en effet, d'un jaune plus ou moins orangé.

Les intensités, après plusieurs réflexions, se déduisant des intensités après une incidence élevées à une puissance marquée par le nombre des réflexions, leurs décroissements du rouge au violet seront d'autant plus rapides que les réflexions seront plus nombreuses;

Digitized by Google

et les métaux de la première catégorie tendront à prendre une couleur rouge qu'ils devront tous atteindre après un nombre suffisant de réflexions.

Dans la deuxième classe des métaux, les azimuts de polarisation rétablie augmentent avec la réfrangibilité des rayons ; et comme les intensités réfléchies varient dans le même sens que les deux constantes, la diminution des incidences fera diminuer du rouge au violet les intensités réfléchies, tandis que, par l'accroissement des azimuts, elles tendront à augmenter. Il pourra donc arriver que certains métaux de cette classe réfléchissent plus de rouge que de violet, et soient orangés comme ceux de la première classe, tandis que, par une raison contraire, la couleur de quelques autres s'approchera du violet. On comprend aussi qu'il existera des substances chez lesquelles les variations inverses des constantes, détruisant leurs effets mutuels, la lumière réfléchie sera blanche. Ainsi, les métaux de cette classe n'auront pas, comme ceux de la première, une teinte limitée aux parties les moins réfrangibles du spectre; ils pourront offrir toutes les couleurs. Cependant il est évident que les variations inverses des constantes réduiront à de très-petites valeurs les variations des intensités, et que la teinte sera toujours peu appréciable. Le caractère des métaux de cette classe sera donc l'absence de toute coloration. »

Toutes ces remarques se confirment par l'examen des nombres renfermés dans les tableaux de M. Jamin.

Il ne nous reste plus qu'à calculer par la règle chromatique de Newton la teinte de chaque métal. Les traités de physique, et particulièrement celui de M. Biot, tome III, page 445, contenant sur la manière de faire ces calculs des détails fort complets, je me dispenserai de les reproduire, et ne ferai connaître que les résultats.

U désignera, suivant la notation ordinaire, l'angle que fait avec le commencement du rouge la couleur calculée de chaque métal. Δ et $(1 - \Delta)$ exprimeront les proportions de cette teinte et de la lumière blanche mêlées dans le rayon réfléchi.

Mais avant d'entrer dans la discussion des résultats, il est utile de rappeler les expériences fort curieuses de B. Prévost. Ce physicien, ayant fait réfléchir plusieurs fois sur des miroirs métalliques une lumière blanche non polarisée, constata que la couleur des métaux se

Digitized by Google

transformait par la multiplicité des réflexions et devenait beaucoup plus vive ; que l'argent prenait, après 10 réflexions, une teinte analogue à celle du bronze ; que l'or et le cuivre devenaient d'un beau pourpre, et que, généralement, tous les métaux éprouvaient des variations analogues. Il était particulièrement intéressant de calculer ces teintes : c'est ce que nous avons fait pour tous nos métaux après 10 réflexions.

Métaux de la première série.

NOMS DES MÉTAUX.	UNE RÉFLEXION.			DIX RÉFLEXIONS.		
	U.	Δ	1—Δ.	U.	Δ.	1—Δ.
Cuivre.....	69°.56′ Orangé très-rouge.	0,113	0,887	43°.29′ Rouge.	0,812	0,188
Métal des cloches.	83.10 Orangé jaune.	0,065	0,935	40.40 Rouge.	0,767	0,233
Laiton.....	103.13 Jaune.	0,112	0,888	62.50 Or. très-rouge.	0,349	0,650
Argent.....	89. 0 Orangé très-jaune.	0,013	0,987	84.32 Orangé jaune.	0,124	0,876

Après la première réflexion sur le cuivre U = 69°56′, et l'arc qui représente le rouge ayant une étendue de 60 degrés, le centre de gravité du mélange tombe dans l'orangé, mais très-près du rouge. Le métal devra donc offrir cette teinte, et l'expérience ne dément pas ce résultat.

La lumière réfléchie contient 887 rayons blancs et 113 rayons orangés; la teinte sera donc lavée et affaiblie : ce qui est parfaitement vrai quand le métal est bien poli.

De tous les métaux, le cuivre est celui qui éprouve les plus remarquables changements de couleur quand les réflexions se multiplient : pâle et peu sensible après 1 réflexion, il prend un éclat remarquable et une couleur pourpre très-pure après 10 réflexions. La lumière réfléchie offre, en outre, cette propriété remarquable, d'être sensiblement homogène et presque indécomposable par le prisme. Un résultat expérimental si tranché mérite de fixer particulièrement notre attention, en ce qu'il nous offre une occasion décisive et

Digitized by Google

unique de justifier par la concordance des résultats l'exactitude de la théorie.

Or, nous trouvons dans les tableaux une valeur de U égale à 43° 29′ qui place la teinte dans le rouge presque moyen. D'un autre côté, Δ et 1 — Δ prenant les valeurs, 0812, 0,187, il nous est possible d'affirmer que la teinte sera presque dépouillée de blanc et sensiblement homogène.

Le laiton et le métal des cloches, bien polis, offrent à l'œil, le premier, une teinte jaune très-apparente, le second, une couleur orangée beaucoup plus lavée. Leurs teintes varient quand on multiplie les réflexions : le laiton devient orangé, le bronze des cloches est d'un beau rouge qui paraît peu mêlé de blanc. Un coup d'œil jeté sur le tableau qui précède montre que ces résultats sont fidèlement représentés par le calcul. La limite du jaune et de l'orangé étant fixée à 94° 55′, nous trouvons 103 degrés pour la teinte du laiton qui sera jaune, et la couleur du métal des cloches représentée par le nombre 83° 10′ est d'un orangé bien net. Ce dernier, réfléchissant 0,935 de blanc, est plus pâle que le laiton, qui en donne 0,887.

Après 10 réflexions, les tableaux assignent au bronze une teinte rouge dans laquelle se trouve très-peu de blanc (0,232); et le laiton, restant orangé, conserve encore 0,650 de blanc.

Un échantillon d'argent vierge, bien poli et d'une blancheur parfaite, donne, après 1 réflexion, U = 89° : c'est une teinte orangée, mais affaiblie et rendue insensible par l'énorme proportion de blanc, 0,987. Dix réflexions donnent à ce métal une couleur toujours orangée, mais rapprochée du rouge (84° 32′), et une proportion de lumière blanche assez faible (0,876), pour laisser apparaître la teinte propre. Il est remarquable que les couleurs du bronze des cloches, après 1 réflexion, et de l'argent après 10, sont représentées par des valeurs de U sensiblement identiques (83° 10′) et (84° 32′). Je fais cette remarque, en rappelant que, pour caractériser cette teinte de l'argent, B. Prévost la compare à celle du bronze.

Digitized by Google

Métaux de la seconde série.

NOMS des métaux.	UNE RÉFLEXION.			DIX RÉFLEXIONS.		
	U.	Δ.	1—Δ.	U.	Δ.	1—Δ.
Zinc.....	180°.67′ Bleu.	0,021	0,978	264°.58′ Bleu indigo.	0,188	0,812
Acier.....	74.33 Orangé rouge.	0,017	0,982	— 22.50 Violet.	0,089	0,974

Nous reproduisons ici d'une manière générale une remarque qui a été faite à l'occasion de l'argent : il y a un grand nombre de métaux qui, sans être d'une blancheur parfaite, n'ont cependant pas une coloration assez caractérisée pour qu'on la puisse classer dans l'échelle des couleurs. Les formules indiqueront ce cas en accusant une teinte déterminée, mais confondue dans une proportion tellement prépondérante de blanc, qu'elle deviendra insensible. Il est clair que la teinte varierait beaucoup pour un petit changement de la valeur des constantes, et pourrait être faussée par les erreurs d'observation. Nous ne devons donc attacher d'importance à la désignation de la teinte qu'autant qu'elle entrera dans le mélange réfléchi en proportion notable. Cette remarque est surtout applicable aux métaux précédents. Ainsi, le zinc sera blanc après 1 réflexion, et ne paraîtra sensiblement coloré qu'après 10 réflexions. Ce résultat est vérifié facilement.

Pendant que tous les métaux se colorent par des réflexions multiples, l'acier conserve toujours l'aspect de la lumière blanche. Cet exemple, unique parmi nos métaux, est fidèlement représenté par nos calculs : après 1 ou 10 réflexions, la proportion de blanc reste à peu près la même, et tellement prépondérante, que la teinte accusée par nos tableaux ne peut être sensible.

Il nous reste à parler du métal des miroirs. Il a donné les nombres suivants :

	U.	Δ.	1 — Δ.
Après 1 réflexion	67° 25′ Orangé très-rouge.	0,028	0,972
Après 10 réflexions	53° 59′ Rouge orangé.	0,292	0,707

Digitized by Google

Ces résultats s'interprètent comme les précédents. Après 1 réflexion, le métal est blanc; après 10 réflexions, il prend une teinte rouge très-apparente : l'expérience vérifie ces résultats.

Conclusions.

Je me suis proposé, dans ce Mémoire, de chercher sur quelques exemples les lois de variation des constantes qui caractérisent les métaux, et d'expliquer la coloration de ces corps. J'ai montré :

1° Que, pour tous les métaux observés, les incidences de polarisation rétablie diminuent du rouge au violet;

2° Qu'une classe de métaux offrait des azimuts de polarisation rétablie augmentant du rouge au violet;

3° Que, dans une deuxième classe de métaux, ces mêmes azimuts diminuaient au lieu d'augmenter;

4° Dans le métal des miroirs, les azimuts décroissent du rouge jusqu'au vert, et augmentent du vert au violet;

5° J'ai fait voir que tous les métaux de la première classe étaient nécessairement colorés des teintes les moins réfrangibles, et qu'ils devenaient toujours rouges après des réflexions suffisamment multipliées;

6° Que ceux de la deuxième classe, pouvant offrir toutes les teintes du spectre, étaient le plus souvent blancs;

7° J'ai calculé la teinte de plusieurs métaux, et montré qu'elle est toujours identique à celle que l'on observe. »

Quoiqu'il n'ajoute rien d'essentiel au beau mémoire de M. Jamin, nous croyons devoir insérer le rapport fait par M. Babinet, au nom d'une commission nommée par l'Académie des Sciences :

Rapport sur un mémoire de M. Jamin intitulé : Mémoire sur la couleur des métaux, par M. BABINET.

« L'Académie a renvoyé à notre examen un mémoire de M. Jamin sur la couleur des métaux. On sait que, parmi les plus grandes difficultés de l'optique, se présente la couleur propre des corps, soit par réflexion, soit par transparence. L'Académie accueillera donc avec intérêt les recherches qui, même dans une partie restreinte de

Digitized by Google

cette grande question, seraient de nature à jeter du jour sur les difficultés du problème.

» M. Jamin a examiné comment on pourrait expliquer les couleurs propres des métaux sous l'incidence perpendiculaire et sous les incidences obliques, dans le cas d'une seule réflexion ou de réflexions multiples, et il a vérifié les résultats de la théorie par des expériences sur divers métaux, pour la première de ces incidences.

» Dans un précédent travail, M. Jamin avait étudié sur les métaux les lois de la réflexion, tant par rapport à l'intensité qu'aux phénomènes de polarisation métallique. Il avait comparé avec succès ses résultats d'expériences aux formules théoriques de M. Cauchy. C'est en suivant ces recherches qu'il fut conduit à l'idée ingénieuse de tirer d'observations analogues la théorie des couleurs propres des métaux.

» Les formules de M. Cauchy sur la réflexion métallique empruntent deux données à l'expérience : 1° l'angle d'incidence, pour lequel un rayon d'abord polarisé complétement (et d'ailleurs dans un azimut quelconque), après avoir subi deux réflexions sur deux miroirs métalliques parallèles (réflexions qui, chacune en particulier, le dépolariseraient partiellement), reprend la polarisation complète, sans que le plan de polarisation soit resté le même que dans le rayon incident; 2° l'angle de déviation du nouveau plan de polarisation comparé au plan primitif de polarisation du rayon incident. Ainsi, sous l'incidence d'environ 72 degrés comptée dans la normale, un rayon complétement polarisé à 45 degrés du plan d'incidence, étant réfléchi deux fois sur deux plaques parallèles d'argent poli, reste complétement polarisé; mais son nouveau plan de polarisation ne fait plus avec le plan d'incidence ou de réflexion qu'un angle d'environ 40 degrés, ayant ainsi subi une déviation ou rotation de 5 degrés. Tous les autres métaux donnent pour cette déviation un angle beaucoup plus grand que l'argent, tandis que l'incidence sous laquelle la polarisation est rétablie varie assez peu d'un métal à l'autre.

» Ces deux constantes une fois observées, la formule de M. Cauchy donne les intensités de la lumière réfléchie par les métaux sous toutes les incidences. M. Jamin n'a calculé et étudié expérimentalement que le cas des incidences voisines de la normale.

» Ce qui distingue le travail de M. Jamin, c'est l'idée importante

Digitized by Google

qu'il a eue de mesurer les deux constantes en question, pour les diverses couleurs du spectre, ce qui n'avait pas encore été fait. Une fois en possession de ces deux angles pour chaque rayon simple, il s'en sert pour calculer la quantité de lumière de chaque couleur que réfléchit la surface métallique après une ou plusieurs réflexions ; puis, par la règle de Newton sur le mélange des couleurs, il détermine l'angle de la teinte résultante, et cette teinte elle-même, avec la proportion de lumière blanche qui l'accompagne après une et après dix réflexions.

» Depuis longtemps des expériences remarquables avaient été faites par le professeur Bénédict Prévost, et insérées dans les *Annales de chimie et de physique* de 1817. Elles étaient restées sans aucune explication. M. Jamin en a fait sur l'argent, le cuivre, le zinc, le métal des miroirs, le bronze ou métal des cloches, le laiton ou l'acier. L'expérience a fidèlement reproduit les prévisions de la théorie et réciproquement. M. Jamin, d'ailleurs, a reconnu, dans le cours de son travail, de curieuses particularités ; ainsi, tandis que, pour tous les métaux, les incidences de polarisation rétablie diminuent du rouge au violet sans exception, la déviation du plan de polarisation, au contraire, n'offre rien de fixe relativement à la couleur. Certains métaux, comme l'argent, le cuivre, donnent pour l'azimut du plan de polarisation du rayon réfléchi des angles qui vont en diminuant du rouge au violet ; pour d'autres, comme l'acier, le zinc, ces angles vont en augmentant avec la réfrangibilité du rayon incident. Et, chose plus étrange, pour le métal des miroirs, l'azimut du plan de polarisation rétablie, après avoir diminué du rouge au vert, augmente ensuite du vert au violet. M. Jamin calcule et observe pour la couleur du métal, dans le premier cas, une teinte où dominent les rayons peu réfrangibles, le rouge, l'orangé, le jaune ; dans le second cas, au contraire, on doit trouver, et l'on trouve une teinte où les couleurs à grande réfrangibilité, le violet, l'indigo, le bleu, sont en surabondance, mais d'ailleurs moins sensibles, à cause d'une proportion plus considérable de la lumière blanche. Quant au métal des miroirs, c'est à la première classe qu'il appartient, surtout après les réflexions multiples ; ce qui d'ailleurs était déjà connu dans les observations astronomiques, où la couleur des étoiles observées avec les télescopes à réflexion est estimée constamment plus rouge ou plus rapprochée du rouge

Digitized by Google

dans l'échelle du spectre que quand l'observation se fait au moyen des télescopes à réfractions.

» M. Jamin a déjà commencé des recherches ultérieures sur les autres métaux, et surtout sur les corps à forte réfraction (dont l'indice est supérieure à 1,7), qui s'assimilent aux métaux par la propriété de ne jamais polariser complétement la lumière incidente ordinaire, comme le diamant, le soufre, le fer spéculaire, les oxydes et les sulfures métalliques, et qui, de plus, produisent, sur la lumière déjà polarisée, les effets de la polarisation elliptique ou circulaire, afin d'étudier le passage des substances ordinaires aux substances métalliques. La grande utilité de ces recherches n'a besoin que d'être mentionnée.

» Tel qu'il est, le mémoire de M. Jamin est complet dans son ensemble théorique et expérimental. L'importante vérification qu'il nous fournit des formules de M. Cauchy n'est pas un des moindres mérites de ce mémoire. Mais, sous quelque point de vue qu'on l'envisage, on devra toujours d'ailleurs le signaler comme étant le premier travail accompli avec succès sur les couleurs propres des corps.

» Votre Commission vous propose de donner votre approbation au mémoire de M. Jamin, et d'en ordonner l'impression dans le Recueil des savants étrangers. »

Nous affirmons, sans crainte d'être démenti, que les recherches de M. Jamin sur la couleur des métaux sont un des plus beaux travaux qui aient eu l'optique moderne pour objet. Il comptera un jour au nombre de ces mémoires hors ligne, que nos voisins d'outre-mer désignent sous le nom de *master-pieces*, et qui sont dans l'histoire de la science comme une sorte d'événement.

Depuis, M. Jamin a présenté à l'Académie une étude complète de la réflexion de la lumière à la surface des corps transparents; nous croyons qu'il nous suffira, pour faire pleinement connaître ce nouveau mémoire, non encore publié, d'insérer le rapport fait par M. Cauchy à l'Académie des Sciences.

Rapport concernant un Mémoire de M. JAMIN *sur la réflexion de la lumière à la surface des corps transparents*, par M. CAUCHY.

« Lorsqu'un rayon de lumière, propagé dans un certain milieu,

Digitized by Google

dans l'air, par exemple, tombe sur la surface extérieure d'un corps transparent, on voit paraître de nouveaux rayons qui se propagent à partir de cette surface, et que l'on nomme *réfléchis* ou *réfractés*. Or, il importe de connaître et de constater, non-seulement les diverses circonstances de la réflexion et de la réfraction lumineuse, mais encore les lois de ces deux phénomènes. Sous ce double rapport, les nouvelles expériences et recherches de M. Jamin nous paraissent devoir être rangées parmi celles qui peuvent efficacement contribuer au progrès de la science. Entrons à ce sujet dans quelques détails.

» On sait qu'un rayon de lumière offre ce qu'on appelle la polarisation rectiligne, circulaire ou elliptique, lorsqu'il est du nombre de ceux que l'on considère, dans le système des ondulations, comme renfermant des molécules d'éther dont chacune décrit une portion de droite, un cercle ou une ellipse. On sait encore qu'un rayon polarisé rectilignement disparaît lorsqu'on l'observe dans un azimut convenablement choisi, à travers un analyseur, par exemple, à travers une plaque de tourmaline ou un prisme de Nicol. On sait, enfin, que la couleur communiquée à un rayon polarisé rectilignement qui traverse d'abord une lame biréfringente d'une épaisseur convenable, spécialement une lame de chaux sulfatée, puis un analyseur, se modifie quand la polarisation devient elliptique ou circulaire. C'est à l'aide de ce dernier moyen, joint à l'emploi de la lumière solaire, que M. Jamin est parvenu à reconnaître l'étendue et la généralité d'un phénomène jusqu'ici observé par les physiciens dans un petit nombre de cas seulement. D'une expérience faite par Malus en 1808, il résultait qu'une plaque de verre polarise complétement, dans le plan d'incidence, la lumière réfléchie par sa surface sous un angle de 57 degrés. En substituant au verre un grand nombre de substances diverses, M. Brewster trouva que chacune d'elles polarisait complétement la lumière réfléchie sous un angle dont la tangente était l'indice de réfraction. Toutefois M. Biot et d'autres physiciens montrèrent que la polarisation devient incomplète quand la réflexion est produite par la surface d'un corps très-réfringent, du diamant, par exemple; et dans la lumière réfléchie par ce dernier corps, M. Airy reconnut les caractères de la polarisation elliptique. Il résulte des expériences de M. Jamin que ce genre de polarisation est généralement produit par la réflexion de la lumière à la surface de presque tous les corps,

Digitized by Google

non-seulement de ceux qui sont très-réfringents, mais aussi de ceux qui réfractent peu la lumière, et du verre en particulier, sous des incidences ordinairement peu différentes de l'angle considéré par M. Brewster. Les exceptions à cette règle sont extrêmement rares; et si, jusqu'à présent, on n'a pas reconnu la polarisation elliptique dans les rayons réfléchis par les corps dont le pouvoir réfringent est peu considérable, cela tient surtout à ce que, pour une certaine incidence, la lumière transmise au travers de l'analyseur échappait à l'œil en raison d'une trop faible intensité.

» Après avoir constaté la polarisation incomplète des rayons réfléchis par la plupart des corps transparents, M. Jamin a voulu mesurer avec exactitude les effets de la réflexion. Pour y parvenir, il a fait construire un nouvel appareil d'une précision remarquable. Dans cet appareil, un rayon solaire, polarisé par un prisme de Nicol dans un certain azimut, se transforme, quand il est réfléchi sous une incidence convenable, en un rayon doué de la polarisation elliptique, et, par conséquent, décomposable en deux rayons plans qui, polarisés, le premier dans le plan d'incidence, le second dans un plan perpendiculaire, offrent des nœuds distincts et des phases inégales; puis la différence de phases entre les deux rayons composants se trouve détruite par un compensateur à plaques croisées qui glissent l'une sur l'autre, et se mesure à l'aide d'une vis micrométrique. (On sait que M. Babinet a formé le compensateur, ici utilisé par M. Jamin, en taillant sous le même angle, dans un cristal de quartz, deux prismes à base triangulaire, qui offrent, le premier des arêtes parallèles, le second des arêtes perpendiculaires à l'axe optique, et en substituant le système de ces deux prismes superposés au système de deux plaques croisées, mais à épaisseurs constantes, dont M. Biot avait signalé les propriétés.) Le rayon réfléchi étant alors réduit à un rayon plan, l'observateur le reçoit sur un analyseur à l'aide duquel il détermine son azimut. M. Jamin remarque, avec raison, qu'il est utile de donner au rayon incident fourni par le polarisateur un azimut peu différent d'un angle droit, et que cette dernière condition, supposée remplie, augmente considérablement l'exactitude des résultats déduits de l'observation. Dans toutes les expériences de M. Jamin, l'azimut du rayon incident était de 84 degrés.

» Après avoir étudié, comme en vient de le dire, les effets de la

Digitized by Google

réflexion produite sous des incidences diverses par un grand nombre de corps, M. Jamin n'a rencontré que deux substances qui lui aient paru offrir le phénomène de la polarisation complète, savoir : la ménilite, et l'alun taillé perpendiculairement à l'axe de l'octaèdre qui représente sa molécule intégrante. Pour toutes les autres substances, l'angle d'incidence, qui avait pour tangente l'indice de réfraction, était, non pas un angle de polarisation complète, mais, à très-peu près, un angle de polarisation maximum.

» Lorsqu'un rayon simple et polarisé rectilignement, après avoir été réfléchi sous une incidence quelconque par un des corps transparents qui sont aptes à produire le phénomène de la polarisation complète, est décomposé en deux rayons polarisés, l'un dans le plan d'incidence, l'autre perpendiculairement à ce plan, la différence de phase entre le premier et le second des deux rayons composants peut être, comme l'on sait, représentée, au signe près, ou par une demi-circonférence π, ou par une circonférence entière 2π, suivant que l'incidence adoptée est inférieure ou supérieure à l'angle de polarisation. Si, à un corps qui polarise complétement la lumière, on substitue un métal, la différence de phases dont il s'agit variera par degrés insensibles, depuis l'incidence normale jusqu'à l'incidence rasante, en passant d'une manière continue de la limite π à la limite 2π (*voir* le tome II des *Comptes rendus*, page 428). Enfin, si la lumière est réfléchie par une substance transparente quelconque, alors, comme le constatent les expériences de M. Jamin, la différence de phases, sensiblement stationnaire dans le voisinage de l'incidence rasante ou normale, passera de la limite π à la limite 2π, tandis que l'angle d'incidence variera entre deux valeurs extrêmes qui, pour les corps peu réfringents, seront toutes deux très-voisines de l'angle de polarisation maximum. Ajoutons que les expériences de M. Jamin, après lui avoir donné des valeurs positives de la différence des phases pour la plupart des substances employées, ont fourni pour trois d'entre elles des valeurs négatives.

» Ce changement de signe dans la différence des phases est d'autant plus remarquable qu'il n'était pas prévu. Les trois substances pour lesquelles il a été constaté par M. Jamin sont le silex résinite, l'hyalite et la fluorine, qui, tous trois, offrent un indice de réfraction peu différent de 1,43.

Digitized by Google

» Parlons maintenant des conséquences importantes qui se déduisent, sous le rapport théorique, des expériences de M. Jamin.

» En partant de la notion des vibrations transversales de l'éther, déduites d'expériences qu'il avait faites avec M. Arago, et de quelques hypothèses plus ou moins vraisemblables, Fresnel était parvenu à découvrir, pour la réflexion et la réfraction de la lumière à la surface des corps transparents, des formules qui supposaient l'existence d'un angle de polarisation complète. D'autre part, lorsque l'on conserve, conformément aux indications de l'analyse mathématique, la notion des vibrations transversales dans les rayons lumineux, et qu'en même temps on substitue aux hypothèses admises par Fresnel les principes de la mécanique moléculaire, spécialement le principe de la continuité du mouvement dans l'éther, tel qu'il a été défini dans la précédente séance, on arrive aux formules que l'un de nous a établies dans l'année 1839 (tomes VIII et IX des *Comptes rendus*, séances du 1er avril et du 25 novembre), et qui comprennent, comme cas particulier (tome VIII, page 411), les formules de Fresnel. Enfin, si, à l'aide des nouvelles formules, on détermine la différence de phases entre les deux rayons composants dont le système peut être substitué à un rayon réfléchi doué de la polarisation elliptique, cette différence, diminuée de π, se réduira, dans une première approximation, à la somme de deux angles positifs, mais inférieurs à π, dont les tangentes trigonométriques seront

$$\varepsilon \sin \tau \operatorname{tang} (\tau + \tau'), \quad \varepsilon \sin \tau \operatorname{tang} (\tau - \tau'),$$

τ étant l'angle d'incidence, τ' l'angle de réfraction, et ε un coefficient très-petit. Ajoutons que si, l étant la longueur d'ondulation dans le rayon incident, on pose $k = \frac{2\pi}{l}$, on aura sensiblement

$$\varepsilon = \frac{k}{k''} - \frac{k}{k_{,,}},$$

$k_{,,}$, k'' étant les coefficients d'extinction des rayons évanescents, sous l'incidence normale, dans l'air et dans le corps donné.

» Or, après avoir opéré comme il a été dit ci-dessus, et reconnu que la polarisation incomplète de la lumière réfléchie par la plupart des corps ne permet plus en général d'appliquer aux phénomènes

Digitized by Google

de la réflexion sous une incidence quelconque les formules de Fresnel, M. Jamin a voulu comparer les résultats de ses expériences avec ceux que fournissent les nouvelles formules. Ici, comme dans ses précédentes recherches, la théorie s'est accordée avec l'observation d'une manière inespérée. Ainsi, par exemple, le rayon incident étant réfléchi par le sulfure d'arsenic sous une incidence variable de 50 à 85 degrés, le rapport de la différence de phases produite par la réflexion à une demi-circonférence a varié de 1,018 à 1,979; et, dans une trentaine d'expériences correspondantes à autant d'incidences diverses, la différence entre les nombres fournis par l'observation et la théorie a presque toujours été inférieure à 0,01.

» Il est utile de le remarquer, les nouvelles formules renferment seulement, avec l'angle d'incidence, deux constantes qui dépendent de la nature du corps soumis à l'expérience, savoir, l'*indice de réfraction* et le coefficient ε, nommé *coefficient d'ellipticité* par M. Jamin. La constance de ces deux coefficients a été diversement établie. La constance du premier ou de l'indice de réfraction est la loi de Descartes, établie d'abord par l'expérience, puis confirmée par la théorie. La constance du second, indiquée d'abord et prévue par la théorie, se trouve aujourd'hui confirmée par les expériences de M. Jamin. Ajoutons que les données fournies par ces expériences ont permis à M. Jamin de déterminer, à l'aide de la réflexion seule, et avec une grande exactitude, les indices de réfraction des substances qu'il avait employées.

» D'après ce qui a été dit plus haut, ε ou le coefficient d'ellipticité est la différence de deux fractions qui offrent un numérateur commun et qui ont pour dénominateurs les coefficients d'extinction du rayon évanescent dans l'air et dans le corps soumis à l'expérience. Par suite, ε s'évanouira, et la polarisation sera complète sous une certaine incidence, si les coefficients d'extinction mesurés dans l'air et dans le corps sont égaux. Dans le cas contraire, ε sera positif ou négatif, avec la différence de phases produite par la réflexion, suivant que le premier des coefficients d'extinction, mesuré dans l'air, sera supérieur ou inférieur au second. Dans les *Comptes rendus* de 1839 (2e semestre), l'application, faite à la page 729, des formules générales données à la page 687, supposait implicitement que le coef-

Digitized by Google

ficient d'extinction mesuré dans l'air devient infini, et, dans cette hypothèse particulière, ε ne pouvait être que positif. M. Jamin ayant prouvé par ses expériences que ε devient négatif pour certaines substances, il faut en conclure que le coefficient d'extinction du rayon évanescent dans l'air conserve une valeur finie, et qu'en conséquence l'intensité de la lumière dans ce rayon n'est pas rigoureusement nulle.

» Remarquons encore que si la lumière, au lieu de passer de l'air dans un premier ou dans un second corps diaphane, était transmise du premier corps au second, la valeur de ε correspondante à cette troisième hypothèse se déduirait immédiatement des valeurs de ε relatives aux deux premières et s'évanouirait, si ces valeurs étaient égales, en donnant naissance au phénomène de la polarisation complète des rayons réfléchis sous une certaine incidence. Il serait bon de vérifier, par des observations directes, ces conséquences de la théorie. Ce serait là un nouveau sujet de recherches sur lequel nous appellerons volontiers l'attention de M. Jamin.

» En résumé, les commissaires sont d'avis que le Mémoire soumis à leur examen peut contribuer efficacement aux progrès de la science, non seulement en raison de la précision des méthodes d'expérimentation employées par l'auteur, mais aussi à cause des résultats qu'ont donnés les expériences, et de l'appui qu'elles apportent à la théorie de la lumière, en confirmant les lois de réflexion que fournissent les principes de la mécanique moléculaire. Ils pensent, en conséquence, que le Mémoire de M. Jamin est très-digne d'être approuvé par l'Académie et inséré dans le *Recueil des Savants étrangers.* »

Les conclusions de ce Rapport ont été adoptées.

Note sur la couleur des corps, par M. BOTZENHART. — *Remarques* de M. HAIDINGER.

En examinant par la loupe dichroscopique la lumière réfléchie à la surface des substances colorées, on observe sous l'angle de polarisation et sous une certaine inclinaison de la lumière incidente, quand la section principale du rhomboèdre de spath d'Islande est parallèle ou perpendiculaire au plan de réflexion, que l'une des deux images est presque blanche, tandis que l'autre présente la couleur

Digitized by Google

du corps soumis à l'examen. La lumière de l'image blanche est polarisée dans le plan d'incidence, celle de l'image colorée l'est perpendiculairement à ce plan. M. Botzenhart en conclut qu'une portion de la lumière qui tombe sur les corps colorés est réfléchie à leur surface sans subir de modification par rapport à sa couleur, tandis que l'autre portion, celle qui dans la loupe dichroscopique apparaît colorée, vient de l'intérieur même des substances colorées, et arrive à l'œil après avoir subi une véritable réfraction. Comme ce phénomène s'observe sur toutes les substances examinées jusqu'à présent, il faut y voir une preuve nouvelle de la transparence de tous les corps jusqu'à une certaine profondeur.

Newton déjà a expliqué les couleurs naturelles des substances par une réflexion intérieure, et cette explication a été acceptée par beaucoup de physiciens. M. Botzenhart croit que l'observation que nous venons de décrire, et qui est facile à répéter, fournit une preuve expérimentale de la vérité de la théorie de Newton. Nous sommes loin de partager son avis. M. Haidinger a complété et vérifié l'expérience un peu superficielle de M. Botzenhart. Il commence d'abord par étudier *l'état de polarisation de la lumière colorée réfléchie.* Des deux images de la loupe dichroscopique, l'une, l'image supérieure ordinaire, est éclairée par de la lumière blanche réfléchie à la surface, l'autre, l'image inférieure extraordinaire, est colorée de la couleur de la substance. On serait peut-être tenté d'en conclure qu'en général la lumière colorée est extraordinairement polarisée, c'est-à-dire perpendiculairement au plan d'incidence. Cependant cela n'a pas lieu; cette lumière est de la lumière naturelle. Si l'on regarde du papier coloré mat ou non glacé, ou d'autres surfaces colorées sans éclat, comme, par exemple, des pétales de fleurs diversement nuancées, on remarque que les deux images sont de la même couleur; la lumière naturelle colorée de l'objet, en sortant de son intérieur, se partage en deux rayons de la même couleur, polarisés perpendiculairement l'un à l'autre. Du papier blanc, mat, donne deux images égales, quand on l'éclaire par la lumière solaire à travers des verres colorés. Du verre d'os, phosphate de chaux transparent et poli, donne également deux images de couleur uniforme, si l'on regarde le rayon réfléchi à travers un verre coloré; sans cela, l'image supérieure reste blanche par réflexion. Du verre noir, éclairé par la lumière solaire à travers

Digitized by Google

un verre coloré, donne une image supérieure colorée, tandis que l'image inférieure est noire.

M. Haidinger a construit un appareil particulier qu'il a nommé *Dichrophane*, de φαίνειν, apparaître, et qui rend facile l'examen de la lumière mixte bicolore que l'on observe par transmission. La lumière réfléchie sous l'angle de polarisation par une glace ordinaire est de nouveau réfléchie dans l'œil sous le même angle par une lame de verre coloré. On colore le premier rayon au moyen de lames de verre d'une couleur quelconque. Si maintenant l'on regarde avec la loupe dichroscopique la lumière qui a seulement traversé la première lame de verre coloré, alors les deux images sont à peu près de la même couleur : car la transmission à travers une seule lame polarise très-peu la lumière. Mais, si l'on éclaire la lame par la lumière réfléchie à la surface du miroir, la réflexion de la lumière polarisée modifie considérablement le phénomène, de telle sorte que la couleur passe tout entière dans l'image inférieure.

L'impression simultanée et plus forte de cette même lumière polarisée efface celle de la couleur plus faible.

On peut régler l'observation des couleurs dans le dichrophane, soit par une combinaison convenable de teintes plus ou moins foncées, soit en ajoutant des lames de verre dépolies.

Sur la netteté de la vision produite dans certains cas par l'emploi dans les microscopes de la lumière polarisée, par sir DAVID BREWSTER.

Jusqu'ici on avait regardé, et non sans raison, comme mauvais l'emploi dans le microscope des prismes de Nicol ou des rhombes de spath d'Islande les mieux taillés. Il faut reconnaître cependant que, lorsqu'il s'agit d'un objet doublement réfringent, ces appareils de polarisation peuvent rendre de très-grands services.

Supposons, par exemple, que nous prenions une graine de *collomea grandiflora*, laquelle, semée dans l'eau, fait germer des centaines de fibres spiraliformes ; si l'on place ces spirales entre deux plaques de verre, dans de l'huile de castoréum, qui a sensiblement le même pouvoir réfringent, on les verra assez distinctement sans le secours des appareils de polarisation. Mais si nous ajoutons un prisme

Digitized by Google

de Nicol ou un prisme biréfringent, l'image est incomparablement plus nette, plus distincte, plus belle ; elle se dessine très-tranchée sur un fonds de lumière polarisée éteinte. La cause de la différence, c'est que dans le second cas il n'y a plus d'ombres de diffraction et que la diffraction est le grand obstacle à la netteté de la vision dans les microscopes. Les instruments de polarisation aussi écarteraient la lumière irrégulièrement réfractée par la transmission à travers le liquide dans lequel se place l'objet microscopique délivré d'un obstacle grave à la perfection de la vision.

Nous avons inséré cette note par respect pour sir David Brewster, mais nous ferons remarquer que M. Talbot a signalé il y a longtemps, dans un très-bon mémoire, l'avantage qu'il y a à éclairer les objets microscopiques avec la lumière polarisée. M. Talbot est vraiment malheureux! tout le monde le pille et lui accorde les honneurs du commentaire sans daigner le nommer ou lui crier gare.

Sur la polarisation elliptique de la lumière et la réflexion à la surface des métaux, par M. POWELL.

Dans ce mémoire, M. Powell examine les changements et variations de quantité, de nature ou de caractères, que subit la polarisation elliptique de la lumière réfléchie par une grande série de surfaces métalliques, de pierres précieuses et de minéraux.

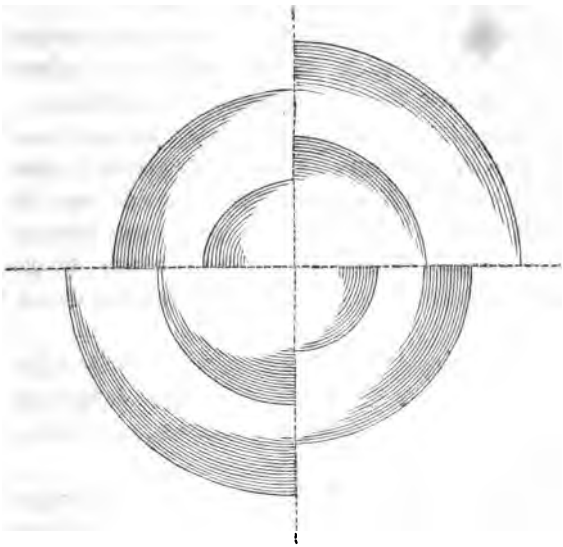
Il établit avec le plus grand soin une formule plus générale que toutes les formules connues, et qui représente le phénomène des anneaux vus dans de la lumière à tous les degrés d'ellipticité, et pour toutes les positions du polarisateur et de l'analyseur.

Nous ne rappellerons pas ici cette formule énorme qui détermine l'intensité I de l'un quelconque des anneaux, en fonction des amplitudes α et β des vibrations composantes, du retard ρ causé par la réflexion à la surface du métal, du retard θ causé par le cristal, de l'inclinaison χ du plan de polarisation sur la surface réfléchissante et de l'inclinaison ψ du rayon réfléchi sur le plan de l'analyseur. Bientôt, nous l'espérons, M. Cauchy aura déduit de sa belle et féconde théorie des formules plus simples et plus générales encore.

M. Powell nous assure que sa formule explique parfaitement toutes les formes et particularités des anneaux, quel que soit le degré d'el-

Digitized by Google

lipticité de la lumière polarisée et l'inclinaison du rayon incident. Il est un cas particulier très-remarquable, celui qui se présente lorsque l'analyseur étant à 45° du plan de réflexion, les anneaux apparaissent comme brisés ou disloqués, ainsi que le représente la figure



ci-jointe, et qu'une double ombre assez épaisse apparaît à l'une des extrémités de chaque quadrant, au lieu de se réunir pour former un anneau central noir. Cette particularité rapproche la lumière elliptiquement polarisée de la lumière polarisée rectilignement et la distingue de la polarisation circulaire.

M. Powell, s'aidant du rhombe de Fresnel, a pris un grand nombre de mesures relatives au degré d'ellipticité communiqué à la lumière polarisée par un certain nombre de métaux, d'oxydes, etc. Il a comparé ses résultats avec ceux obtenus par sir David Brewster sur la restauration du plan de polarisation après plusieurs réflexions sur une surface métallique.

Fresnel a déterminé les lois du changement du plan de polarisation dû à la réflexion sur les surfaces transparentes à différentes incidences: M. Powell affirme que l'on n'a pas encore déduit de la théorie la formule correspondante pour les corps opaques ou la réflexion

Digitized by Google

métallique ; c'est une erreur : M. Cauchy a résolu complétement ce difficile et grand problème, et les résultats qu'il a obtenus représentent parfaitement les phénomènes observés par M. Brewster. M. Powell, de son côté, dans les mesures qu'il a prises sur différents métaux, à déterminé la position du plan *virtuel*, ou l'azimut de l'analyseur qui restaure le système d'anneaux elliptiques analogue à l'azimut de restauration du plan de polarisation de la lumière rectilignement polarisée, dans des circonstances semblables.

Feu M. Mac-Cullagh a déduit de certaines analogies mathématiques une formule empirique qui donne la variation du plan de polarisation, et qui, dans le cas de l'acier, s'accorde assez bien avec l'expérience. Partant de cette loi, et introduisant dans ses propres formules les nombres donnés par M. Mac-Cullagh, M. Powell retrouve d'une manière assez satisfaisante les résultats de ses propres expériences.

Dans un post-scriptum, M. Powell annonce que la réflexion sur une solution d'encre de Chine lui a donné de la lumière elliptiquement polarisée ; c'est un fait digne d'attention, car l'encre de Chine est une substance non métallique.

Jusqu'ici la polarisation elliptique n'avait été observée que sur des surfaces métalliques pures et sur trois composés métalliques : le sulfure de plomb, la pyrite et le cobalt arsénical. M. Powell a reconnu cette même propriété dans un grand nombre de composés : la litharge, le sulfate de cuivre, les minerais de cuivre diversement nuancés de l'île d'Elbe, l'antimoine arsénical, le fer sulfaté, l'hématite brune, l'oligiste hexagonal, la plombagine, qui contient tout au plus cinq pour cent de fer, etc., etc. Il a constaté que cette même polarisation elliptique ne s'observe pas dans d'autres composés métalliques où l'on devait s'attendre à la rencontrer.

M. Dale, comme nous l'avons vu, a grandement accru la liste des substances qui donnent la polarisation elliptique.

Sur une nouvelle théorie de la polarisation de la lumière, par M. Challis.

Dans cette théorie, l'éther est considéré comme une substance fluide continue, et traité mathématiquement d'après les principes de

Digitized by Google

l'hydrodynamique. Partant d'une nouvelle équation générale du mouvement des fluides, l'auteur montre qu'un filet fluide peut continuer à être en mouvement sans s'étendre latéralement, et que le mouvement peut se propager uniformément sur la longueur du filet, pourvu qu'il consiste en vibrations partie longitudinales et partie transversales, suivant la loi des sinus. Un pareil filet en mouvement est supposé représenter un rayon de lumière. La sensation de la lumière est due aux vibrations transversales. Dans un rayon de lumière ordinaire, le mouvement transversal s'opère dans des plans qui passent par l'axe du rayon, et est le même suivant toutes les directions, à partir de l'axe; dans un rayon polarisé dans un plan, le mouvement transversal a lieu dans des plans qui ne passent pas par l'axe, et dans un rayon polarisé elliptiquement, les vibrations transversales sont elliptiques.

M. Challis a étendu sa théorie aux phénomènes de la double réfraction, par une méthode qui suppose une nouvelle théorie de la dispersion de la lumière. Il trouve que la surface d'élasticité est celle d'un ellipsoïde, ce qui n'est pas d'accord avec la théorie de Fresnel sur la double réfraction. L'équation de la surface de l'onde est toutefois la même que dans cette théorie.

Le monde savant ne paraît pas attacher une grande confiance aux recherches théoriques de M. Challis. Cette défiance universelle nous dispense de tout commentaire.

INTERFÉRENCES DE LA LUMIÈRE.

Nous avons cette fois à analyser quelques recherches vraiment originales et curieuses.

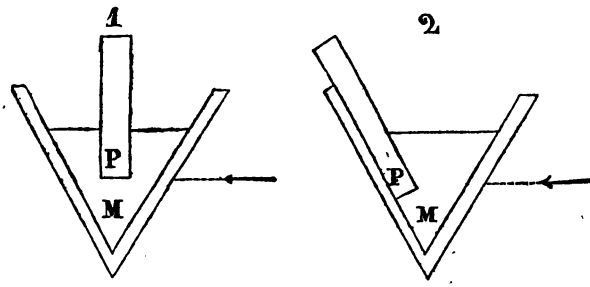
Sur un nouveau cas d'interférence de la lumière, par le rév. BADEN POWELL.

Voici l'expérience fondamentale :

Dans un prisme creux, ou mieux dans une auge de verre, contenant un liquide très-réfringent et très-dispersif, l'huile de sassafras, d'anis ou de cassis, par exemple, on introduit une plaque de verre dont le bord inférieur soit parallèle à l'arête du prisme, qui divise à

Digitized by Google

peu près en deux parties égales l'angle du prisme, et qui s'étende vers la moitié supérieure du liquide, sans intercepter la moitié inférieure plus mince : fig. 1. Si maintenant la lumière arrive par une fente horizontale étroite, le spectre formé apparaîtra croisé par un certain nombre de bandes sombres parallèles à la fente et à l'arête du prisme.



M. Baden Powell a essayé des combinaisons diverses d'huiles ou d'autres milieux avec des plaques de verre et autres substances transparentes de diverses épaisseurs. Chacune de ces combinaisons donne naissance à des particularités distinctes. Quelquefois les bandes sont sensiblement équidistantes, quelquefois elles étaient plus serrées et plus fines vers une des extrémités du spectre ; dans beaucoup de cas elles s'étendaient sur toute la longueur du spectre. Dans quelques cas elles manquaient sur certains points.

Avec une même huile, un même milieu, si la plaque excède une certaine épaisseur, les bandes deviennent trop nombreuses et trop fines pour pouvoir être aperçues : si l'épaisseur est trop petite, les bandes sont en petit nombre, larges et faibles : pour des épaisseurs intermédiaires elles apparaissent plus vives et plus distinctes.

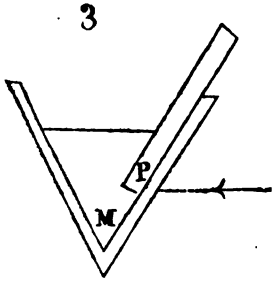
Avec des plaques et des milieux de pouvoirs réfringents et dispersifs différents, et d'épaisseurs diverses, le nombre et la netteté des bandes varient considérablement, ainsi que les limites de leur visibilité, d'une manière dépendante à la fois et de l'épaisseur et du rapport des pouvoirs réfringents, mais ces variations ne peuvent pas être formulées suivant une loi simple.

Il n'est pas nécessaire que la plaque soit précisément dans une position verticale ; elle peut être inclinée d'un côté ou de l'autre et toucher même l'une des faces prismatiques, comme on le voit

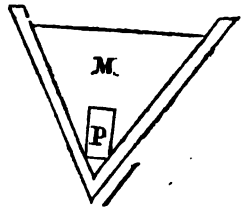
Digitized by Google

fig. 2 et 3; les bandes ne cessent pas pour cela d'apparaître, mais elles s'abaissent un peu et sont peut-être moins vives.

3



4



Certaines combinaisons d'un milieu et d'une plaque, une plaque de verre, par exemple, avec de l'huile de térébenthine, de l'eau d'angélique ou de l'eau pure, ne donnent pas de bandes quand on conserve les arrangements primitifs de M. Powell. Mais M. Stokes a prouvé par des considérations théoriques que l'on peut obtenir dans ce cas des bandes par une disposition inverse, qui consiste à intercepter la portion la plus mince du prisme, en laissant passer la lumière à travers la partie supérieure ou plus épaisse : ce que l'on fait fig. 4, en arrêtant la lumière au bas de l'appareil par un petit écran. M. Powell s'est assuré que cette disposition donnait réellement naissance à des bandes.

Pour bien voir les bandes dans tous les cas, surtout vers l'extrémité violette du spectre, il faut se servir d'une forte lumière. M. Powell employait ordinairement la lumière directe du soleil adoucie par un verre bleu, ou du moins la lumière d'une partie très-brillante du ciel dans le voisinage du soleil, projetée par le porte-lumière. Quoique le plus souvent il fît usage d'un petite lunette, les bandes les plus larges et les plus vives se montraient à l'œil nu, même quand on n'avait recours qu'à la lumière d'une lampe; mais dans ce cas il faut renoncer à voir les raies plus fines.

Quand, au lieu de plaques de verre, on place sur le trajet du rayon des plaques de substances cristallisées, on voit naître de nouveaux phénomènes. Une plaque de spath d'Islande obtenue par un clivage naturel, jointe à l'huile de cassia, donne deux couches distinctes de bandes, les unes plus fines et plus serrées, les autres plus épaisses

Digitized by Google

et plus rares; on voit au delà du milieu du spectre ces deux systèmes de bandes nettement superposés.

Si on les examine avec un prisme de Nicol, chacun des deux groupes disparaît alternativement, en laissant l'autre visible pendant un quart de révolution de l'analyseur; ce qui prouve que ces bandes sont dues à des faisceaux polarisés en sens contraires ou à angle droit. Il est facile de s'assurer que les bandes plus fines appartiennent au rayon extraordinaire, les bandes plus larges au rayon ordinaire.

Une plaque de quartz perpendiculaire à l'axe donne, avec l'huile de sassafras, des bandes distinctes qui sont composées encore de deux groupes très-voisins et presque coïncidents. Si la plaque est inclinée comme le montre la fig. 2, l'extrême rapprochement des espaces s ombres et clairs fait naître sur divers points du spectre des lignes ou bandes très-fixes. Dans ce cas, les deux faisceaux dévient assez de l'axe pour devenir de la lumière rectilignement polarisée, et le prisme de Nicol, en rencontrant alternativement chacune de ces bandes, de quart de cercle en quart de cercle, les rend distinctement visibles en faisant évanouir la confusion née de la superposition.

Pour expliquer le phénomène général de la formation des bandes dans les conditions que nous venons d'indiquer, il suffit de recourir simplement au principe des interférences.

Le pinceau de lumière homogène qui concourt à la formation de l'une quelconque des raies se partage en deux portions, l'une qui passe par la portion plus épaisse du prisme, et qui est plus retardée; l'autre qui passe par la portion moins épaisse, et qui est moins retardée. Ces retards sont uniformes et proportionnels à la différence de réfraction sur toute l'étendue du spectre.

La plaque de verre, cependant, dont les indices de réfraction pour les divers rayons du spectre diffèrent de ceux du milieu, rompt cette uniformité, et fait que l'une des parties du faisceau incident est toujours retardée dans une proportion plus forte que l'autre: et quand la différence de ce retard arrive successivement à être égale à un multiple impair ou pair de la demi-longueur d'onde, les deux portions du faisceau se détruisent ou s'accordent, donnant naissance à une bande sombre ou claire.

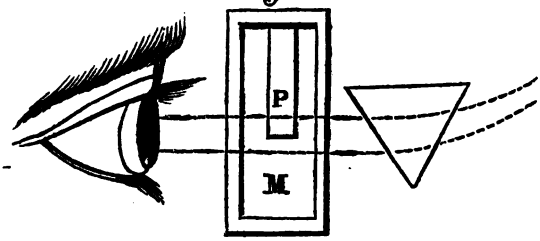
Digitized by Google

Mais quand on veut rendre compte de toutes les particularités des phénomènes, du nombre des bandes, de leur épaisseur, de leurs caractères particuliers, suivant que l'on adopte l'une ou l'autre des dispositions indiquées, etc., etc., il faut faire entrer dans le calcul les pouvoirs réfringents relatifs de la plaque et du milieu, etc., etc. Au reste, la comparaison des résultats du calcul avec les résultats de l'expérience est une confirmation éclatante de la théorie.

M. Powell remarque avec raison que les faits observés par lui ont une grande analogie avec les bandes d'interférence de M. de Wrede, si bien réalisées dans le charmant appareil de M. Soleil, et avec celles de M. Brewster, dont nous parlerons tout à l'heure.

M. Stokes a examiné d'une manière particulière le cas où la plaque de verre, étant placée au sein d'un vase à faces parallèles que remplissait le fluide, on observait à travers cet ensemble, représenté fig. 5, le spectre donné par un prisme placé en avant sur le trajet du

5



rayon lumineux. Il a démontré que l'effet produit sera le même, si la matière du prisme est celle du vase prismatique. Il importe de remarquer que, si l'on connaît le pouvoir réfringent du milieu fluide, et que l'on ait observé le nombre des bandes, on pourra calculer sans peine l'indice de réfraction de la plaque, ce qui, dans certains cas, sera fort utile.

La nature de cet ouvrage ne nous permet pas de suivre MM. Powell et Stokes dans les développements théoriques qui les ont conduits à l'explication complète de ces intéressans phénomènes; qu'il nous suffise de dire qu'ils ont fait preuve d'une grande habileté. Ils manient à merveille les formules des Fresnel et des Airy, formules, hélas! presque oubliées et presque incomprises en France. Pour-

Digitized by Google

quoi faut-il que nous ayons fatalement abdiqué une supériorité qui était pour nous si glorieuse !

En désignant par i_p, i_m, les indices de réfraction de la plaque et du milieu pour un rayon quelconque r, dont λ est la longueur d'ondulation, par i'_p, i'_m, λ', les nombres correspondants pour un second rayon r', par d l'épaisseur de la plaque, on trouve que le nombre n des bandes comprises entre ces deux rayons est donné par l'équation très-simple :

$$n = \left(\frac{i_p - i_m}{\lambda} - \frac{i'_p - i'_m}{\lambda'}\right) d.$$

C'est la seule formule que nous puissions transcrire dans ces pages. Si la quantité entre parenthèse est négative, ce sera la première disposition, fig. 1, qui donnera des bandes ; ce sera la seconde, fig. 4, si le coefficient de d est positif.

M. Powell prend soin aussi de rappeler comment, à l'aide d'un rhombe de spath et d'un prisme de Nicol, on reconnaîtra dans les deux systèmes de bandes données par des plaques doublement réfringentes celles qui appartiennent au rayon extraordinaire.

C'est la première fois que, dans cette longue excursion dans le champ de l'optique, nous avons rencontré le nom de M. Stokes. Ce nom est déjà célèbre en Angleterre, et il se rattache à de nobles efforts tentés pour expliquer le difficile problème de l'aberration. C'est M. Stokes aussi qui avait été chargé par l'Association britannique de faire cette année, à la réunion de Birmingham, le rapport supplémentaire sur les progrès récents de l'optique. Nous attendions ce rapport avec impatience, mais rien ne nous indique qu'il ait été présenté, et nous avons dû continuer à voler de nos propres ailes.

Sur une nouvelle polarisation de la lumière et sur l'explication qu'en a donnée M. Airy dans le système de la théorie des ondulations, par sir DAVID BREWSTER.

« Malgré la faculté puissante dont jouit la théorie des ondes pour expliquer les phénomènes, et ses succès partiels pour les prédire, il ne m'a jamais été possible, dit sir D. Brewster, de la considérer comme la représentation de cet ensemble intéressant de faits qui

Digitized by Google

constitue l'optique physique. Quand une théorie qui affiche de hautes prétentions, qui est d'ailleurs remarquable par la faculté de se plier à toutes les exigences, s'est montrée, après épreuve, incapable d'expliquer une classe tout entière de phénomènes bien observés et parfaitement tranchés, ceux qui ont découvert ou étudié ces phénomènes peuvent être excusés de lui refuser leur assentiment et de ne pas abandonner d'anciennes vues qui, quoique moins populaires, ont été cependant sanctionnées par des autorités telles que celles de Newton et de Laplace. J'ai eu le bonheur de mettre sous les yeux du public plusieurs des faits auxquels je viens de faire allusion ; mais comme ce n'est pas mon intention, dans cette notice, de discuter les avantages généraux de la théorie des ondulations, je ferai mention seulement de deux classes de faits que cette théorie est dans l'impuissance d'expliquer.

» Le premier de ces faits, qui a été communiqué à la Société royale il y a environ quinze ans, embrasse les phénomènes des franges transversales qui croisent les franges produites par les surfaces cannelées et produisent, tant dans la lumière ordinaire que dans la lumière homogène, une série d'apparences également magnifiques et singulières. Dans ces phénomènes on est témoin de ce fait extraordinaire qu'une plaque de métal poli est incapable, sous divers angles d'incidence, de réfléchir un seul rayon de lumière homogène, tandis que, sous des angles d'incidence intermédiaires, elle réfléchit librement cette lumière. La théorie ondulatoire n'a jamais tenté d'expliquer ces faits, et j'ai la conviction qu'ils dépassent ses forces : voilà pourquoi, sans doute, ces phénomènes n'ont attiré aucune attention et ont partagé le sort de toutes ces notions intraitables qui ne veulent pas se plier à la théorie dominante du jour.

» Les phénomènes du second groupe, que la théorie des ondes est également incapable d'expliquer, se présentent d'eux-mêmes quand on regarde un spectre solaire parfait, ou un spectre diffringent, à travers le bord d'une plaque mince de verre, de quartz ou de mica. Si l'on couvre la moitié de la pupille de l'œil avec une semblable plaque et qu'on regarde le spectre de manière que les rayons qui passent par le bord de la plaque puissent interférer avec ceux qui la traversent, alors, si la plaque est du même côté que l'espace violet, le spectre est

Digitized by Google

sillonné de nombreuses bandes noires et presque équidistantes, parallèles aux lignes fixes de Fraunhofer, et qui, généralement parlant, augmentent avec l'épaisseur de la plaque. Mais si cette plaque est du même côté que l'espace rouge, alors on ne voit plus de bandes, quoique toutes les autres conditions de leur production soient les mêmes. Lorsque la plaque transparente est très-mince, les franges qui se produisent sont celles des plaques minces, soit qu'on couvre la moitié ou la totalité de la pupille ; mais cela n'a rien de commun avec le phénomène qu'on examine actuellement. Ce singulier phénomène de l'apparition des franges seulement dans une position de la plaque m'avait paru indiquer une nouvelle polarité dans les éléments simples de la lumière, et, en conséquence, je l'avais communiqué à l'Association britannique en 1836, à Liverpool. En 1837, j'ai également soumis à la même association de nouvelles observations qui ont même donné lieu à une discussion. Ces phénomènes, tout curieux qu'ils étaient et quelque pressants qu'ils fussent pour les partisans de la théorie ondulatoire, sont restés inexpliqués pendant plus de trois années. Enfin ils ont attiré l'attention de M. Airy en octobre 1839, époque à laquelle cet habile géomètre répéta mes expériences ; et, plus tard, en 1840, il en fit le sujet d'un beau mémoire intitulé : *Explication théorique d'une nouvelle polarité apparente de la lumière.*

» Avant la publication de ce mémoire, M. Airy en avait fait connaître les principaux résultats à la réunion de l'Association britannique, à Glasgow, en 1839. A cette occasion, j'avais fait quelques observations sur ces résultats et j'avais spécialement insisté sur ce fait que, tandis que l'explication de M. Airy portait uniquement sur les bandes pâles qu'on voit lorsque le spectre est hors du foyer, j'avais aperçu les bandes parfaitement distinctes, extrêmement vives et d'un noir intense en plaçant le spectre au foyer. L'explication donnée dans ce mémoire n'avait donc rien de commun avec les bandes que j'avais découvertes et décrites : en conséquence, M. Airy fut conduit à reprendre ses recherches, et il en a publié le résultat dans un supplément à son premier mémoire, qui a paru dans les *Transactions philosophiques* pour 1840. Voici l'énoncé qu'il donne lui-même des résultats qu'il a obtenus :

Digitized by Google

« Dans la seconde section des *Transactions philosophiques* de 1840, dit M. Airy, la Société royale a publié un mémoire de moi, expliquant d'après la théorie ondulatoire de la lumière la nouvelle polarité apparente découverte par sir David Brewster. Cette explication était basée sur la supposition que le spectre est observé en dehors du foyer, supposition qui correspondait avec les circonstances de mes propres observations et de celles de quelques autres personnes. Depuis la publication de ce mémoire, sir David Brewster m'a assuré que le phénomène s'observait d'une manière bien plus distincte quand le spectre était placé si exactement au foyer, qu'on pouvait apercevoir un grand nombre des lignes fixes de Fraunhofer. Cette observation semblait être en contradiction avec celles de M. Talbot, citées par moi à la page 226 de mon mémoire, ainsi qu'avec les miennes propres. Dans le but d'écarter l'obscurité qui semblait encore voiler ce sujet, j'ai étendu les investigations théoriques à ce cas, qui avait été omis dans mon premier mémoire, à savoir, lorsque le spectre est vu au foyer, et je suis arrivé à un résultat qui paraît complétement concilier les faits en apparence les plus contradictoires. »

» Maintenant, reprend M. Brewster, dans les investigations que renferme ce mémoire, et que M. Airy considère comme satisfaisantes, il y a deux points qui méritent une attention spéciale : le premier de ces points est la supposition nécessaire pour l'explication que, même quand un simple point quelconque du spectre est observé exactement au foyer, il forme une image différente sur la rétine, l'étendue de la différence étant excessivement moindre que l'intervalle entre les bandes. Cette supposition ne me paraît pas admissible ou soutenable un seul instant ; le second point a rapport à l'expression s/h que M. Airy obtient pour les intervalles entre les bandes, et d'où il résulterait que cet intervalle serait en raison inverse du rayon de la pupille ou de la surface de l'objectif. Mais les intervalles *n'ont pas de semblables variations*, et M. Airy ne dit pas qu'une semblable variation ait jamais été observée dans aucune de ses expériences. J'ai fait l'expérience à plusieurs reprises et avec le plus grand soin, et je puis affirmer en toute confiance que les franges ne varient pas avec le diamètre de la pupille ou les ouvertures de l'objectif; leur intervalle reste le même, soit qu'on regarde à tra-

Digitized by Google

vers un trou d'épingle, ou avec la pupille dans toute sa dilatation, et il est également invariable quand l'ouverture de l'objectif varie d'un quart de pouce à quatre pouces. Il en résulte que le système des bandes auquel s'applique la théorie de M. Airy n'a pas d'existence dans la nature, que les phénomènes que j'ai décrits restent encore inexpliqués dans la théorie ondulatoire et peuvent être considérés comme l'indication d'une nouvelle espèce de polarité, jusqu'à ce qu'on les ramène sous l'empire de quelque principe général.

» Depuis la publication des deux mémoires de M. Airy, dit en terminant M. Brewster, j'ai consacré beaucoup de temps à l'examen et à la mesure des bandes dont il s'agit, et j'ai été conduit à l'observation d'un grand nombre de phénomènes nouveaux et compliqués. Je suis toutefois aussi ignorant que par le passé sur la cause de la singulière propriété à laquelle se rapporte cette note, quoique j'aie réussi à ramener les phénomènes à la véritable classe d'interférences à laquelle ils appartiennent. »

A la suite de cette communication, M. Challis déclare qu'il a examiné ce sujet aussitôt après les expériences de M. Brewster, qu'il les avait répétées et vérifiées dans la plupart des points. Il a trouvé toutefois que, l'orsqu'on faisait varier l'inclinaison de la lame de verre retardatrice sur le rayon de lumière, les lignes variaient considérablement.

M. Brewster répond qu'il a étudié les phénomènes sous toutes les inclinaisons de la lame de verre retardatrice, qu'il a fait parcourir à celle-ci tous les angles, tant en direction verticale qu'horizontalement, et qu'il a noté et décrit l'effet produit sur les lignes.

M. Airy fait sentir la difficulté de ramener des phénomènes aussi complexes au contrôle des expressions mathématiques, mais, quant aux lignes qui font le sujet de la discussion, il n'existe dans son esprit aucun doute sur l'exactitude de l'explication qu'il en a donnée.

M. Powell a aussi répété les expériences de M. Brewster, et a retrouvé rigoureusement les faits qu'il a annoncés. Il a également lu avec la plus grande attention les deux mémoires de M. Airy sur ce sujet; il exprime sa conviction que le dernier contient une explication complète des phénomènes connus à cette époque. Il est évident qu'il peut se présenter des cas où les phénomènes se compliquent et où quelques points exigeraient pour leur explication qu'on s'appuyât

Digitized by Google

sur un principe, tandis que d'autres ressortiraient d'un autre principe, quoique ces points eussent été observés simultanément ; mais il pense qu'il n'est pas juste de dire, même en supposant que les phénomènes restent inexpliqués, qu'ils ne sont pas de nature à être expliqués par la théorie ondulatoire.

Dans une nouvelle note, M. Powell présente un historique sommaire des phénomènes désignés sous le nom de nouvelle polarité de la lumière, par M. Brewster, dans les sessions de l'Association à Liverpool et Newcastle, puis il rappelle le premier mémoire communiqué par M. Airy à la Société royale, pour montrer que le fait sur lequel M. Brewster avait basé l'énoncé de ses phénomènes était le résultat de la théorie ordinaire des ondulations, sans qu'il fût nécessaire d'avoir recours à l'hypothèse d'une nouvelle polarité de la lumière. A ce mémoire M. Brewster avait répondu, à Glasgow, qu'on y supposait la nécessité que le télescope ne fût pas ajusté au foyer, tandis que les bandes étaient plus spécialement distinctes lorsque l'ajustement était le plus exact et le plus rigoureux. Cette assertion détermina la publication d'un second mémoire de la part de M. Airy, dans lequel il modifia sa première assertion, en disant que la distance des bandes dépendait d'une quantité s/h, dans laquelle h était le diamètre de la pupille de l'œil. Sir David Brewster contesta cette nouvelle assertion à Cambridge, et affirma que la distance entre les bandes ne dépendait sous aucun rapport de la dimension de la pupille. M. Powell apporta son témoignage relativement à l'exactitude de cette affirmation, mais annonça que les bandes devenaient beaucoup plus distinctes à mesure que les dimensions de l'ouverture diminuaient. Dans la discussion relative à ces bandes, il se présentait naturellement un ou deux points qui exigeaient un nouvel examen. La principale objection consistait en ceci, savoir, que, suivant la formule théorique, une contraction de l'ouverture de l'œil ou du télescope devait produire un élargissement dans les intervalles entre les bandes, ce qui n'a pas été confirmé par l'expérience. — L'auteur trouve qu'avec une contraction poussée jusqu'à 1/20 de pouce, quoiqu'il n'y ait pas élargissement sensible dans les intervalles, cependant les bandes deviennent infiniment plus vives et plus distinctes, tandis qu'elles ne s'étendent seulement que sur une petite portion du spectre à la fois. Avec la même plaque, l'élargissement des inter-

Digitized by Google

valles paraît ne dépendre uniquement que de l'accroissement de l'étendue angulaire du spectre qui est sous-tendu par l'œil, soit que cet accroissement soit produit par une plus grande distance de l'origine, soit par un angle prismatique plus grand, soit enfin par un pouvoir dispersif plus élevé, ou une puissance supérieure du télescope. La formule comprend le rapport de la dernière ouverture à la distance d'un point pris sur la rétine, de l'image géométrique au point lumineux, et cette formule ne dépendant pas d'une hypothèse arbitraire, mais d'un des points directs de la théorie, il semble peu rationnel de prononcer que ses conséquences sont insoutenables et tout à fait inadmissibles, lorsque la question dont il s'agit est de savoir si la théorie dans son ensemble s'applique au phénomène. A part toute théorie, lorsque sous certaines conditions des bandes se forment également, que la plaque soit appliquée à l'une ou à l'autre extrémité du spectre, le terme *polarité* parait extrêmement impropre pour exprimer l'effet observé.

Sir David Brewster est vraiment un homme terrible, qui a complétement oublié le vieil et prudent adage : *non sunt multiplicanda entia absque necessitate ;* c'est le père aux mille entités de l'école nominaliste ; il faudrait toute l'imagination fougueuse du fameux dessinateur et peintre anglais Martin pour représenter le rayon lumineux, si simple cependant en lui-même, avec les mille polarités dont M. Brewster s'est plu à le revêtir. Chaque année, depuis plus de quarante ans, c'est une polarisation et une polarité nouvelles ; chaque année aussi, c'est un nouveau croc-en-jambe donné à la belle théorie des ondulations, dont M. Brewster ne veut pas absolument, quoiqu'elle ait été pour lui l'occasion de ses plus glorieux triomphes, par l'éclatante confirmation qu'elle apportait à ses belles et patientes observations. La théorie stérile de l'émission n'a rien fait prévoir à l'illustre physicien écossais ; elle n'a rien expliqué au fond, absolument rien : la théorie des ondulations, au contraire, maniée par M. Cauchy, a rendu raison, jusque dans leurs plus petits détails, des observations et des expériences de l'infatigable et savant physicien. Comment dès lors peut-il s'obstiner à repousser les torrents de lumière qui auraient du dissiper mille fois les ténèbres dans lesquelles il s'enveloppe comme par plaisir ? Est-ce que, comme M. Biot, son immortel émule, il se serait refusé à contempler les phénomènes si

Digitized by Google

concluants de la réfraction conique? est-ce que ses vieilles colères contre son ardent et si spirituel adversaire, M. Arago, dureraient encore, et que, dans son dépit, il aurait différé jusqu'à ce jour de vérifier que la lumière est réellement retardée dans son passage à travers la lame de mica, ou un milieu plus dense quelconque? M. Brewster le sait mieux que nous; toute la question est là, et les expériences si simples de MM. Lloyd et Arago ne laissent pas même place au doute. L'une démontre invinciblement la réalité de la surface des ondes d'Huyghens et de Fresnel et la vérité de la théorie des ondulations; l'autre renverse de fond en comble le système de l'émission: l'aveuglement volontaire de M. Brewster, s'il persistait encore, serait un véritable suicide.

Et puis, que prouve en réalité la difficulté, ou même, si l'on veut, l'impossibilité de rendre compte numériquement, dans la théorie des ondulations, des phénomènes complexes mis sans cesse en avant par sir David Brewster? Un exemple fera mieux ressortir les vices de son argumentation. Quoi de plus simple, dans le système même de l'émission, si ingrat et si stérile, que la théorie des caustiques? et cependant il ne tient qu'à M. Brewster d'imaginer un nombre indéfini de surfaces réfléchissantes telles, que les calculs qui doivent mettre en évidence la forme et les particularités de la courbe ou de la surface-enveloppe de tous les rayons réfléchis ne puissent jamais être achevés, de telle sorte que cette courbe ou cette surface resteront réellement inconnues, quoique, dans l'expérience, elles apparaissent nettement visibles. Faut-il en conclure que la théorie des caustiques est fausse? Evidemment non! Et voilà cependant comment M. Brewster raisonne contre la théorie des ondulations! Encore a-t-il soin, aussi souvent qu'il peut, de mettre en jeu dans ses objections les mystères de l'œil humain!

Expériences nouvelles d'interférences, par M. PLUCKER.

Parmi les expériences sur la lumière, aussi remarquables par leur élégance que satisfaisantes pour l'esprit, en ce sens qu'elles se ramènent aux principes les plus simples de l'optique, nous avons surtout remarqué l'expérience d'interférence conçue par M. Plücker, et que nous allons décrire et expliquer.

Digitized by Google

En outre d'un instrument de polarisation, cette expérience exige les appareils suivants :

1° Une plaque plan-concave de cristal de roche, dont la surface courbe soit une portion de sphère, et dont la surface plane soit parallèle à l'axe optique ; son épaisseur doit être telle qu'elle produise des couleurs dans l'appareil de polarisation, quand son axe correspond à l'azimut de 45° : on verra naître, dans ce cas, des cercles colorés concentriques, dont le centre est au-dessus de la partie la plus mince, c'est-à-dire au-dessus du milieu de la plaque ;

2° Une plaque, à faces planes parallèles, de cristal de roche, taillée parallèlement à l'axe optique, dont l'épaisseur soit comprise entre l'épaisseur la plus grande et l'épaisseur la plus petite de la plaque précédente. Dans la lumière polarisée, elle présente également le phénomène des couleurs ;

3° Une plaque de mica d'une épaisseur telle qu'un rayon de réfrangibilité moyenne, qui la traverse dans la direction de la ligne médiane des axes optiques, et dont la direction de vibrations est perpendiculaire aux axes optiques, devance d'un quart de longueur d'onde un second rayon, qui suit la même direction, mais dont les vibrations se font dans le plan des axes optiques.

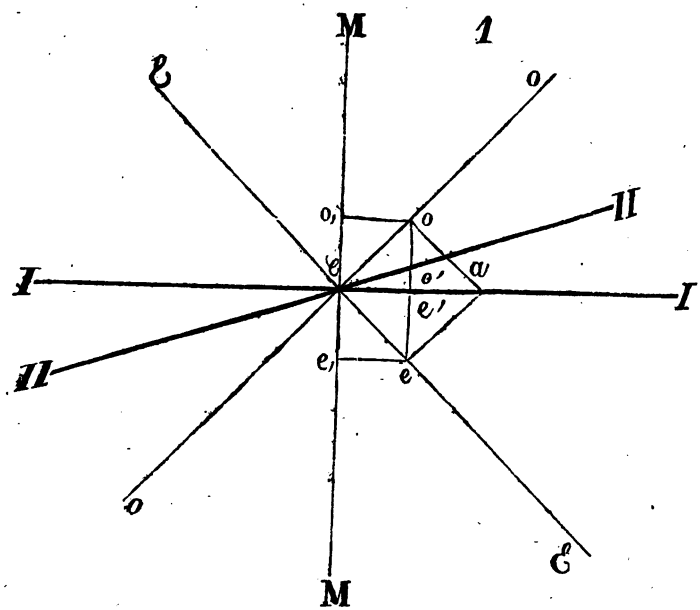
On pose sur la table de l'appareil de polarisation, d'abord la plaque plan-concave, puis, sur cette première plaque, la lame-plaque à faces parallèles, de manière que l'axe de la première soit sous l'azimut + 45°, l'axe de la seconde, sous l'azimut — 45°. En croisant les miroirs, on aperçoit d'abord un anneau noir correspondant aux endroits où les deux plaques sont de la même épaisseur. Ensuite il se présente d'autres anneaux colorés, concentriques au premier anneau noir, dont les couleurs, en passant continuellement d'une nuance à l'autre, s'étendent en dehors et en dedans de l'anneau noir. Si maintenant l'on pose sur les deux plaques de cristal de roche la plaque mince de mica, de manière que sa première section principale, celle qui contient les axes optiques, soit parallèle à la direction des vibrations de la lumière réfléchie par le miroir inférieur, le phénomène décrit ne sera point modifié ; mais si l'on tourne le miroir analyseur de droite à gauche, autour de l'axe de l'instrument, comme on le ferait de l'aiguille d'une horloge, les anneaux semblent se dilater, et marcher de dehors en dedans,

Digitized by Google

tandis qu'au centre de la figure, il s'en développe d'autres qui suivent les premiers. Après une rotation de 180°, la figure primitive reparaît de nouveau. Quand on tourne l'analyseur de gauche à droite, les anneaux se resserrent, deviennent toujours plus petits, et disparaissent à la fin au centre de la figure.

Si l'on place la lame de mica de manière que le plan de ses axes optiques coïncide avec le plan d'incidence du miroir polarisant, la direction de la rotation devra avoir lieu en sens contraire, si l'on veut observer dans le même ordre les phénomènes de dilatation ou de concentration des anneaux. Dans la lumière monochromatique le phénomène est moins brillant, mais plus facile à suivre. En regardant la figure à travers un verre coloré, on voit alternativement des anneaux clairs et sombres, qui, suivant qu'on tourne le miroir analyseur, se *dilatent* et disparaissent au bord, ou *se rétrécissent* et se perdent au centre de la figure.

Dans l'explication que nous allons donner de cette expérience, nous supposerons que la lumière incidente est homogène; il est évident que le phénomène, tel qu'il se présente dans l'emploi de la lumière blanche, se déduira facilement de ce cas particulier.



Digitized by Google

Concevons que II (fig. 1) soit la direction des vibrations de la lumière polarisée par le premier miroir, II, II, la direction des vibrations de la lumière polarisée par le second miroir ; que EE soit parallèle à la section principale de la première plaque, OO parallèle à la section principale de la seconde plaque de cristal de roche. La ligne MM, perpendiculaire à II, est comprise dans une des sections principales de la plaque de mica. Si Ca est l'amplitude en un point quelconque du rayon incident polarisé par le premier miroir, Co et Ce seront les amplitudes des rayons ordinaire et extraordinaire, dans lesquels le rayon incident est divisé par le premier cristal de roche ; et en admettant que l'angle ICO soit égal à $1/4\,\pi$, on aura

$$Co = Ce = Ca \times \sqrt{\tfrac{1}{2}} = a\sqrt{\tfrac{1}{2}}.$$

Les avances que les deux rayons gagnent en sortant de la plaque sont

$$\frac{D}{\mu}\lambda, \quad \text{et} \quad \frac{D}{\nu}\lambda,$$

en appelant D l'épaisseur de la plaque au point en question, μ et ν les longueurs d'ondes des rayons ordinaire et extraordinaire, et λ la longueur d'onde de la couleur correspondante dans l'air. Après que les rayons auront traversé la seconde plaque, l'avance de Co sera

$$\frac{D}{\mu}\lambda + \frac{D'}{\nu}\lambda,$$

celle de Ce

$$\frac{D}{\nu}\lambda + \frac{D'}{\mu}\lambda,$$

en supposant que D′ soit l'épaisseur de la seconde plaque. La lame de mica, dans laquelle les rayons vont maintenant pénétrer, divise de nouveau ces oscillations, savoir : Co en Co_1 et Co' ; Ce en Ce_1 et Ce'. Les amplitudes des oscillations correspondantes seront évidemment les mêmes, savoir, $1/2\,a$. Mais quant aux phases des quatre rayons, qui sortent de la lame de mica, elles seront différentes. Désignons par δ l'épaisseur de cette lame, par μ' la longueur d'onde du rayon qui se propage dans la direction de la ligne médiane, et dont les vibrations sont parallèles à II, enfin par ν' la longueur d'onde du rayon, dont la direction de vibration est perpendiculaire à II, les valeurs des avances des rayons Co', Ce', Co_1 et Ce_1, seront respectivement :

Digitized by Google

$$\lambda\left(\frac{D}{\mu}+\frac{D'}{\nu}+\frac{\delta}{\mu'}\right),\quad \lambda\left(\frac{D}{\nu}+\frac{D'}{\mu}+\frac{\delta}{\mu'}\right),$$
$$\lambda\left(\frac{D}{\mu}+\frac{D'}{\nu}+\frac{\delta}{\nu'}\right),\quad \lambda\left(\frac{D}{\nu}+\frac{D'}{\mu}+\frac{\delta}{\nu'}\right).$$

Les composantes de ces mêmes ondulations dans la direction II, II, en posant ICII $= \alpha$, seront respectivement :

$$1/2\, a \cos\alpha,\ 1/2\, a \cos\alpha,\ 1/2\, a \sin\alpha,\ -1/2\, a \sin\alpha.$$

C'est de ces composantes que dépend l'intensité du rayon qui entre dans l'œil, et d'après ce qui vient d'être exposé, cette intensité y sera donnée par l'équation

$$y = 1/2\, a \left\{ \cos\alpha \left[\sin(A - mD - nD' - m'\delta) + \sin(A - nD - mD' - m'\delta)\right] + \sin\alpha \left[\sin(A - mD - nD' - n'\delta) - \sin(A - nD - mD' - n'\delta)\right] \right\}$$

en faisant

$$A = \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) + \varphi,\quad \frac{2\pi}{\mu} = m,\quad \frac{2\pi}{\nu} = n,$$
$$\frac{2\pi}{\mu'} = m',\quad \frac{2\pi}{\nu'} = n'.$$

Ainsi que nous l'avons remarqué, l'épaisseur de la lame de mica doit être telle que la différence de marche $n'\delta - m'\delta$ soit égale à $\pm 1/2\,\pi$. Supposons de plus que sa position soit telle que $n'\delta$ soit plus petit que $m'\delta$, et désignons $A - m'\delta$ par A', l'équation précédente se réduit ainsi à l'expression plus simple

$$y = 1/2\, a \left\{ \sin(A' - mD - nD' - \alpha) + \sin(A' - nD - mD' + \alpha) \right\}$$

et il en résulte, n étant un nombre entier, que tous les points pour lesquels on aura

$$2\alpha + (m - n)(D - D') = (2n - 1)\pi$$

correspondront à des intensités nulles ou seront obscurs : ce qui a lieu, comme il est facile de le voir, pour les points des cercles dont le centre commun se trouve au-dessus du centre dioptrique de la lentille de cristal de roche.

La distance entre deux cercles qui se suivent diminue de l'intérieur à l'extérieur. En allant dans la direction du rayon de la circonférence d'un cercle à celle du cercle le plus rapproché, l'intensité de la lumière augmente d'abord continuellement ; elle atteint un maximum et di-

Digitized by Google

minue ensuite. Ces relations restent les mêmes pour chaque valeur donnée de α. Mais si α varie, c'est-à-dire si on tourne l'analyseur, les rayons des cercles prennent toujours d'autres valeurs. Quand nous les aurons calculés pour certaines valeurs particulières de α, on verra mieux de quelle manière les phènomènes se modifieront, quand α augmentera ou diminuera d'une manière continue. Désignons $m-n$ par ε, l'obscurité régnera pour $\alpha = 0$ aux points où

$$D - D' = \ldots - 3.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad -\frac{\pi}{\varepsilon},\quad \frac{\pi}{\varepsilon},\quad 3.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad 5.\frac{\pi}{\varepsilon}\ldots,$$

pour $\alpha = 1/4\,\pi$ dans les endroits où

$$D - D' = \ldots - 7.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad -3.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad +\frac{1}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad \frac{5}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad \frac{9}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon}\ldots,$$

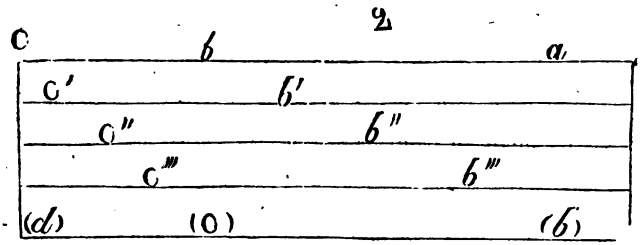
pour $\alpha = 1/2\,\pi$ dans les endroits où

$$D - D' = \ldots - 4.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad -2.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad 0,\quad 2.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad 4.\frac{\pi}{\varepsilon}\ldots,$$

pour $\alpha = 3/4\,\pi$ dans les endroits où

$$D - D' = \ldots - \frac{5}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad -\frac{1}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad \frac{3}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad \frac{7}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon},\quad \frac{11}{2}.\frac{\pi}{\varepsilon}\ldots$$

Pour $\alpha = \pi$ tout se passe comme dans le cas de $\alpha = 0$. Concevons que la plus grande valeur négative de $D - D'$, qui répond au milieu de la première plaque, se trouve entre $-\frac{\pi}{\varepsilon}$ et $-2\frac{\pi}{\varepsilon}$, et que les distances au centre des points, pour lesquels la différence $D - D'$ est $0, \frac{\pi}{2}$, etc., soient oa, ob, oc, etc. (fig. 2), alors pour $\alpha = 0$,



$\alpha = 1/4\,\pi$, etc.; les rayons des anneaux obscurs correspondant seront oa, ob, oc, ..., oa', ob', oc' .... Donc, quand, à mesure que α

Digitized by Google

augmente, les anneaux se contractent, ils se dilatent au contraire, quand II, II, tourne dans la direction opposée. En substituant l'une à l'autre les sections principales de la lame de mica, on aurait $n'\delta - n_{\prime\prime}'\delta = -1/2\,\pi$; dès lors les diamètres des anneaux et les valeurs de α augmenteraient et diminueraient en même temps.

Sur le phénomène des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche, par MM. H. FIZEAU et L. FOUCAULT.

Interférences produites par l'appareil des miroirs.

« Considérons le système des deux miroirs de Fresnel, disposé devant le foyer radieux d'une lentille cylindrique éclairée par le soleil, de manière à donner à une certaine distance, dans l'espace, des franges symétriques d'une certaine largeur; recevons ces franges sur un écran percé d'une fente très-fine, et faisons correspondre la fente au milieu même de la frange centrale; recevons maintenant la lumière qui traversera la fente dans un système réfringent destiné à dilater cette lumière en un spectre très-pur, que l'observateur regardera dans l'espace, au moyen d'une loupe, la frange centrale, pour laquelle la différence de marche des deux rayons réfléchis est nulle, fournissant alors la lumière, ce spectre sera le spectre ordinaire avec les lignes fixes. Maintenant, si, tout restant en cet état, on fait avancer l'un des miroirs parallèlement à lui-même (le plus éloigné de la source lumineuse convient le mieux), on déplacera la frange centrale qui sera remplacée par une autre frange d'un ordre d'autant plus élevé que le mouvement du miroir aura été plus grand; l'observateur verra le spectre se couvrir des bandes obscures et brillantes de Fraunhofer, et l'on pourra les resserrer de plus en plus en faisant continuer le mouvement du miroir.

» On remarquera que les lignes fixes étant simultanément dans le spectre, il est possible de compter le nombre des bandes semblables qui se trouvent entre deux quelconques d'entre elles, à chaque moment de l'expérience. Nous verrons tout à l'heure que ce nombre permet de calculer la différence de marche correspondante.

» Dans ces conditions, l'observation nous a donné les résultats suivants :

Digitized by Google

» Le nombre des bandes peut devenir considérable sans qu'elles cessent d'être observables dans toute l'étendue du spectre. Lorsque l'on en compte 66 entre les raies E et F, le phénomène est encore très-beau et très-net ; le spectre entier en contient alors près de 500. Lorsque leur nombre s'accroît beaucoup au delà, elles commencent à ne plus être aperçues vers l'extrémité rouge, puis dans l'orangé, puis dans le jaune, en reculant vers l'extrémité la plus réfrangible, où l'on peut les apercevoir longtemps encore ; le nombre le plus élevé que nous ayons obtenu entre E et F est 141 : nous les avons vues plus resserrées encore; mais sans pouvoir en apprécier le nombre, à cause de la faible intensité de la lumière qui, dans cette disposition, concourt à la formation du spectre. La disparition progressive des bandes, en commençant par la partie la moins réfrangible du spectre, lorsque la différence de marche devient de plus en plus grande, est un phénomène qui s'observe constamment, quel que soit le moyen employé pour produire l'interférence. Si l'on remarque toutefois qu'il ne commence à se manifester que lorsque les bandes sont devenues d'une finesse extrême, et si l'on se rappelle qu'en vertu de la dispersion décroissante du violet au rouge, la lumière est de moins en moins pure en se rapprochant de l'extrémité rouge, on est conduit à attribuer ce fait à l'imparfaite séparation des rayons simples, qui doit toujours devenir sensible à une certaine limite.

» Nous avons dit que la différence de marche pouvait être déduite du nombre de bandes comprises entre deux lignes fixes dont on connaît les longueurs d'ondulation λ et λ'.

» En effet, en vertu de l'égal retard de l'un des faisceaux sur l'autre pour toutes les couleurs, on a

$$n\lambda = n'\lambda',$$

n et n' étant les nombres d'ondulations λ et λ' qui mesurent ce retard. Mais on a observé que dans le spectre il existait m intervalles terminés par des bandes semblables, en allant de la raie qui a λ pour longueur d'ondulation à celle qui a λ'. Or, si l'on suppose λ' plus grand que λ, on en conclura le nombre $n' = n - m$. Substituant cette valeur de n' dans l'équation précédente, on trouve

$$n = \frac{m\lambda'}{\lambda' - \lambda}.$$

Digitized by Google

» Pour les raies F et E on a le rapport $\frac{\lambda'}{\lambda' - \lambda} = 12,32$; ainsi pour les deux valeurs $m = 66$ et $m = 141$ trouvés précédemment, on a $n = 813$, et pour la seconde observation, $n = 1737$. Ces nombres correspondent à la raie F, c'est-à-dire au milieu du bleu; pour le violet correspondant à la raie G, on trouve les nombres encore plus élevés : $n = 917$, $n = 1960$.

» Au lieu d'augmenter la différence de marche en faisant avancer l'un des miroirs parallèlement à lui-même, nous avons placé, suivant la méthode de M. Arago, une lame mince sur le trajet de l'un des faisceaux, et nous avons vu de même notre spectre se couvrir de bandes d'autant plus nombreuses que la lame était plus épaisse; cependant, n'ayant pas eu à notre disposition une série de lames assez parfaitement travaillées pour cet usage, nous n'avons pas été aussi loin par ce moyen que par le précédent.

» Pour une petite lame d'environ $0^{mm}5$ d'épaisseur, nous avons trouvé pour le nombre de bandes, toujours entre E et F, le nombre 48.

» Pour en déduire la différence de marche, il faut changer la formule qui a été trouvée, pour le cas des miroirs seuls, en cette autre :

$$n = \frac{m\lambda'}{\lambda' - \lambda \frac{(r' - 1)}{(r - 1)}},$$

r et r' étant les indices de réfraction des rayons λ' et λ pour la substance dont la lame est formée; cette quantité n, qui se déduit encore facilement de l'épaisseur de la lame, a été trouvée pour la raie F, $n = 512$.

Interférences produites par réflexion sur des lames minces.

» Si l'on fait tomber perpendiculairement sur une lentille cylindrique à court foyer un faisceau de lumière solaire, il se produit derrière la lentille, et à la distance focale principale, une sorte d'image linéaire du soleil; mais si l'on place derrière la lentille, parallèlement à son plan, et à la moitié de sa distance focale, une lame mince transparente, chacune des surfaces de cette lame réfléchit vers la lentille une portion du faisceau convergent. La lumière provenant de ces

Digitized by Google

deux réflexions va converger vers l'intérieur de la lentille, la traverse en formant deux foyers linéaires situés l'un devant l'autre, et très-voisins si la lame est très mince, puis continue sa route en sens contraire du faisceau incident, comme si elle émanait de ces foyers mêmes. Si donc un observateur pouvait se placer dans ce faisceau de lumière solaire qui tombe sur la lentille, il apercevrait à l'intérieur même de cette lentille un foyer linéaire rayonnant qui résulterait de la superposition des deux images très-voisines, situées l'une devant l'autre.

» En inclinant un peu le faisceau incident, l'observation devient possible : on peut donc aussi former un spectre avec la lumière émise par ce foyer rayonnant ; et comme ce foyer est constitué par deux faisceaux réfléchis aux deux surfaces d'une lame mince, le spectre devra se couvrir de bandes d'interférences dont le nombre dépendra de l'épaisseur et de la nature de la lame réfléchissante. Nous avons observé, à l'aide de cette disposition, les interférences produites par la réflexion aux deux surfaces d'une petite glace dont l'épaisseur était 0^{mm} 537.

» Les bandes, d'une ténuité extrême, mais très-distinctes, entre les raies F et G, n'ont pu être comptées, à cause de leur finesse même ; mais on peut calculer le nombre d'ondulations qui constitue la différence de marche, au moyen de l'épaisseur de la lame, qui a été mesurée très-exactement : la formule est, dans ce cas, $n = \frac{2er}{\lambda}$.

» On trouve alors, pour la raie F, $n = 3406$, et pour la raie G, $n = 3859$.

Interférences produites au moyen de la double réfraction.

» Si l'on place sur le trajet d'un faisceau de lumière solaire, d'abord un prisme de Nicol, puis une lame d'un corps bi-réfringent dans une position convenable, puis un second prisme de Nicol dont le plan polarisant soit parallèle ou perpendiculaire à celui du premier, puis enfin une fente derrière laquelle, et à la distance convenable, sera disposé l'appareil réfringent destiné à former le spectre, on observera dans le spectre le résultat de l'interférence du rayon ordinaire avec le rayon extraordinaire.

Digitized by Google

» En plaçant entre les deux prismes polarisants des lames de gypse d'épaisseurs croissantes, nous avons vu, comme dans les circonstances précédentes, un nombre croissant de bandes se former dans le spectre; pour une épaisseur de gypse de 15 millimètres, le phénomène est très-beau : le défaut seul de transparence des cristaux dont nous disposions ne nous a pas permis d'augmenter l'épaisseur. Un morceau de quartz à faces parallèles à l'axe dont l'épaisseur était de $54^{mm}.6$ a produit un spectre sillonné d'environ six cents bandes noires; entre E et F, nous en avons compté quatre-vingt-neuf.

» Une lame de spath, aussi parallèle à l'axe et d'une épaisseur de 4^{mm} 79, en donne environ mille pour l'étendue du spectre, car entre E et F nous en avons compté cent cinquante-cinq.

» Les différences de marche pour ces expériences sont évidemment moindres que celles que nous avons déjà obtenues; on les calcule d'une manière très-approchée par la formule

$$n = \frac{e\,(r' - r)}{\lambda},$$

r' et r étant les indices de réfraction ordinaire et extraordinaire : en calculant pour la raie F, on a, avec le quartz, $n = 1082$, et avec le spath, $n = 1692$.

» Nous avons observé encore les phénomènes produits par plusieurs lames diversement épaisses de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, et nous avons vu la même série d'apparences se manifester dans le spectre.

» Nous allons montrer maintenant comment on peut déduire de ce mode d'observation des données précises sur la dispersion de double réfraction, en appelant ainsi la variation que subit la différence de marche des rayons ordinaire et extraordinaire pour les diverses couleurs.

» En effet, on a dans tous les cas le nombre n d'ondulations λ, qui mesure cette différence de marche par la formule

$$n = \frac{e\,(r' - r)}{\lambda},$$

e étant l'épaisseur, r' et r les indices de réfraction ordinaire et extraordinaire pour la couleur λ. Or, si l'on parvient à connaître n par

Digitized by Google

l'observation directe pour les diverses couleurs, on en déduira pour chacune d'elles la valeur de $r' - r$.

» Pour montrer que l'on peut trouver le nombre n directement, supposons que les prismes polarisants étant croisés à angle droit, une lame cristallisée soit convenablement placée dans l'intervalle qui les sépare.

» Supposons de plus que, pour observer le spectre, on fasse usage d'un oculaire à fils croisés qui permette de considérer un point déterminé de l'espace, et fixons l'intersection de ces fils sur le milieu d'une bande noire : le nombre n correspondant à ce point sera un nombre entier. Si l'on pouvait alors faire décroître l'épaisseur de la lame par degrés insensibles jusqu'à la rendre nulle, on verrait le point considéré passer par des états périodiques d'éclat et d'obscurité ; mais il est clair que, pour chaque retour à l'obscurité première, il y aurait une interférence de moins dans la différence de marche, de sorte que l'on aurait pour ces périodes successives n, $n - 1$, $n - 2$, et enfin $n - n$ pour une épaisseur nulle : le nombre de ces périodes ferait connaître le nombre cherché. Or, l'on est parvenu à construire des systèmes de deux prismes glissant l'un sur l'autre, qui permettent précisément d'obtenir des épaisseurs continûment variables dans les cristaux, et l'on peut même, par certains artifices de compensation, faire décroître l'épaisseur jusqu'à la rendre nulle. Il est donc possible d'arriver à la détermination directe du nombre d'ondulations qui mesure la différence de marche pour une couleur donnée. Ayant obtenu ce nombre n pour une couleur, on trouve aisément le nombre n' correspondant à une autre couleur λ', en comptant sur le spectre même le nombre entier ou fractionnaire d'intervalles séparés par des bandes noires que l'on rencontre en allant du premier point au second. Soit m ce nombre ; si λ' est plus grand que λ, on aura

$$n' = n - m.$$

» On pourra donc aussi, pour un cristal donné, calculer la quantité $(r' - r)$ pour les divers points du spectre dont on connaît la longueur d'ondulation. Cette étude offrira un intérêt particulier dans le cas de la double réfraction circulaire du cristal de roche;

Digitized by Google

car, selon la remarque de Fresnel, il résulterait de la loi trouvée par M. Biot, pour la rotation des plans de polarisation des diverses couleurs produites par cette double réfraction, que la quantité $(r' - r)$ devrait varier suivant une loi simple, et en raison inverse de la longueur d'ondulation de chaque couleur.

» Dans la seconde partie de ce travail, nous considérerons les effets produits sur la lumière polarisée par les cristaux biréfringents, non plus précisément sous le point de vue des interférences, mais sous le rapport des modifications imprimées par eux à la polarisation primitive, et l'on verra avec quelle facilité on peut étudier dans le spectre les phénomènes si complexes de la polarisation chromatique dans les plaques épaisses. »

Cette seconde partie n'a pas encore paru, et nous n'en connaissons que ce que nous avons extrait, dans notre second volume, d'un mémoire de M. Biot. Le rapport suivant de M. Babinet complètera notre analyse et fera suffisamment connaître les recherches de MM. Fizeau et Foucault.

Rapport de M. BABINET *sur deux Mémoires de* MM. FIZEAU *et* FOUCAULT, *relatifs à l'observation des interférences dans le cas des grandes différences de marche entre les rayons interférents, et à plusieurs applications de ces procédés d'observation.*

« Un travail très-étendu sur les interférences, dans le cas des très-grandes différences de marches entre les deux rayons interférents, a été soumis à l'Académie par MM. Fizeau et Foucault. Au moyen de l'important appareil qu'ils ont imaginé, deux rayons qui diffèrent de sept à huit mille fois l'intervalle fondamental λ d'une interférence donnent des franges observables et mesurables, tandis que dans les observations antérieures à leur travail on ne pouvait observer qu'un très-petit nombre de franges. Des conséquences inattendues, relatives à la persistance des vibrations moléculaires qui engendrent la lumière, aux équivalents optiques ou rapports de réfraction, aux constantes qui règlent la double réfraction uniaxe ou biaxe, à la polarisation circulaire ou elliptique, à la polarisation chromatique et à la dispersion dans tous les cas de réfraction simple, double, circulaire, ont été déjà le fruit des travaux de MM. Foucault et Fizeau, et

Digitized by Google

de l'emploi de l'appareil de recherches qu'ils ont inventé. Cet appareil, que l'on peut sans crainte classer dans le rang honorable des plus utiles instruments explorateurs des sciences d'observation, peut être défini un analyseur chromatique de la lumière soumise à son action, qui sépare, avec une précision sans limite, les couleurs dont se compose la lumière qui lui arrive, de manière à soumettre, pour ainsi dire individuellement, les rayons de diverses réfrangibilités et de diverses longueurs d'interférences à l'examen de l'observateur.

» Pour en donner une idée, concevons une ouverture très-étroite où arrive la lumière à analyser, les rayons divergents de cette lumière sont rendus parallèles par une lentille dont cette ouverture étroite occupe le foyer principal antérieur, comme dans le collimateur ordinaire; puis, ainsi préparée, cette lumière traverse successivement un, deux ou trois prismes très-réfringents, qui séparent les couleurs d'une quantité jusqu'ici impossible à atteindre. Quelquefois même MM. Fizeau et Foucault ont employé jusqu'à cinq prismes. Enfin, après avoir traversé les prismes, ces rayons sont reçus sur une autre lentille convergente qui concentre chaque espèce de rayons en un point unique. La série de ces points ou bandes constitue un spectre excessivement étendu, dans lequel, si l'on emploie la lumière solaire, les raies obscures, observées d'abord par Wollaston, et ensuite si admirablement étudiées et mesurées par Fraunhofer, présentent d'admirables points de repère pour définir la position des bandes d'interférences de toute espèce que MM. Foucault et Fizeau ont étudiées, mesurées, ou simplement reconnues, dans le grand nombre des phénomènes qu'ils ont soumis à l'expérience. Ce spectre définitif peut être observé sur un écran blanc opaque par réflexion, sur un verre dépoli, par transmission, ou enfin directement avec l'œil armé d'une loupe, comme l'a fait Fresnel dans son micromètre pour les franges de diffraction et d'interférence.

» L'intention de M. Arago, qui s'était d'abord chargé du rapport sur les mémoires de MM. Foucault et Fizeau, avait été de faire l'historique de cette partie de la science, et de comparer l'appareil et les observations décrites dans ces deux mémoires à ce qui avait été fait précédemment.

» Le rapporteur actuel, auquel M. Arago a remis le soin de faire valoir les résultats importants obtenus par les deux habiles physi-

Digitized by Google

ciens, ne donnera point cette étendue à l'examen de ces mémoires, et se bornera à une sorte de procès-verbal des recherches que la Commission propose à l'approbation de l'Académie, à la suite de vérifications expérimentales réitérées.

» Ainsi nous renvoyons aux mémoires eux-mêmes :

» 1° Pour la nécessité de toutes les dispositions prises dans l'établissement de l'appareil analyseur, instrument fondamental de ces recherches;

» 2° Pour la production des franges par des miroirs offrant une différence de marche d'un nombre indéfini d'intervalles d'interférence;

» 3° Pour la production des franges entre deux rayons, dont l'un devance l'autre d'une quantité égale à trois millièmes (trois millimètres), donnée par une épaisseur de verre d'un millimètre, traversée deux fois;

» 4° Pour la production des franges dans les différences des marches dues à la double réfraction dans des lames parallèles à l'axe de près de cinq millimètres pour le spath d'Islande, et de plus de cinquante millimètres pour le cristal de roche;

» 5° Pour l'étude de tous les phénomènes de la polarisation chromatique et l'exploration de l'état où se trouvent les rayons des diverses couleurs, quant à la différence de marche; pour la polarisation rectiligne, circulaire ou elliptique, et pour la détermination des constantes de tous les éléments optiques que contiennent les phénomènes si variés de la polarisation découverte par M. Arago;

» 6° Pour les conséquences théoriques que MM. Fizeau et Foucault ont déduites de leurs travaux relativement à la séparation, pour ainsi dire indéfinie, des divers rayons colorés, à la persistance des vibrations qui donnent la lumière et au nombre minimum que l'observation assigne à ces vibrations successives isochrones, résultat dont l'importance avait été indiquée par Fresnel, qui n'avait point alors de moyens de résoudre la question, et enfin à la complexité des mouvements lumineux que peut comprendre en un même point un rayon de lumière non homogène.

» Ainsi l'appareil de MM. Fizeau et Foucault doit être considéré comme une invention expérimentale de premier ordre pour l'étude des phénomènes optiques, simples ou complexes. Les résultats ob-

Digitized by Google

tenus par son moyen sont déjà très-importants; il nous promet, entre les mains de ses auteurs et des autres physiciens, des déterminations et des découvertes de la plus haute importance, comme, par exemple, la mesure exacte des constantes de la double réfraction biaxe pour les diverses couleurs, et la vérification de la loi dite du carré des accès, dans les phénomènes de rotation du quartz, et bien d'autres applications, desquelles MM. Foucault et Fizeau ont déjà fait le plan et essayé avec succès les premières dispositions.

»La Commission propose donc à l'Académie de donner son approbation aux deux mémoires de MM. Fizeau et Foucault, et d'en ordonner l'impression dans les mémoires des savants étrangers. »

Sur les bandes parallèles jaunes et noires du mica,
par M. W. HAIDINGER.

« En regardant sur une feuille mince et plane de mica, que l'on tient très-près de l'œil, l'image réfléchie de la flamme d'une lampe d'alcohol salé, la couleur jaune homogène de la flamme apparaîtra divisée par un grand nombre de raies ou stries transversales noires, de même largeur, et séparées entre elles par des stries ou raies jaunes. Ces bandes jaunes sont perpendiculaires au plan de la lumière incidente. Plus la feuille de mica est mince, plus les bandes sont larges; dans des feuilles plus épaisses elles sont d'une finesse extrême, et sont en même temps très-régulières. N'ayant pas eu l'occasion de faire des observations plus exactes, de prendre des mesures, etc., je regrette de ne pas pouvoir ajouter un plus grand intérêt à la description de ce phénomène très-curieux, et que l'on peut facilement observer.

» L'explication en est très-simple. Ces bandes transversales, alternativement jaunes et noires, représentent les anneaux de Newton, d'un ordre très-élevé. On sait que les sept premiers anneaux, si colorés et si brillants dans la lumière blanche, paraissent alternativement jaunes et noirs, et sont suivis de plusieurs autres séries de bandes parallèles, jaunes et noires, quand on les éclaire avec la lumière jaune homogène de la lampe à alcohol salé. Or, les bandes parallèles de la feuille de mica représentent ces anneaux extérieurs. Plus l'angle sous lequel on observe la feuille de mica est oblique, plus est grande la dis-

Digitized by Google

tance que la lumière parcourt dans son intérieur, avant d'être réfléchie à la seconde surface. Les maxima et les minima d'intensité correspondent aux bandes jaunes et noires. Le phénomène devient plus brillant, les bandes parallèles jaunes et noires sont très-longues, si l'on agrandit le champ de la vision en faisant réfléchir sur la feuille de mica la lumière d'une feuille de papier blanc, éclairée par la flamme jaune homogène de la lampe à alcohol salé.

» Des feuilles très-minces paraissent tout à fait noires ou très-brillantes, suivant qu'elles ont l'épaisseur voulue pour réfléchir seulement les minima ou les maxima. Cette circonstance donne aux feuilles de mica ordinaires, irrégulièrement brisées ou froissées, un aspect moiré singulier.

» M. Talbot a observé sur des feuilles de verre d'une très-petite épaisseur un phénomène analogue à celui que nous venons de décrire. Herschel en fait mention dans son *Traité de la lumière*, n° 649. M. Brewster ajoute que le phénomène s'observe encore mieux sur des feuilles de mica. Mais les bandes jaunes et noires de Talbot sont d'une autre nature que les nôtres, quoique produites toutes les deux par les interférences de la lumière. Cette différence se manifeste déjà dans l'observation : tandis que les bandes de la feuille de mica se dessinent plus nettement, à mesure que l'on rapproche la feuille de l'œil, les bandes de la feuille de verre, au contraire, deviennent toujours plus faibles et disparaissent vers la fin tout à fait.

» Dans l'image resserrée de la flamme d'alcohol salé, les bandes, alternativement jaunes et noires, forment des lignes courbes, droites et parallèles l'une à l'autre. M. von Ettingshausen a fait sur la nature de leur forme particulière l'observation suivante : « Les points d'incidence qui, sur la feuille de mica, répondent aux mêmes différences » de marche des rayons, se trouvent à une distance invariable de » l'œil, sur un cercle dont le centre est donné par la perpendicu- » laire abaissée de l'œil sur la feuille de mica. Ce que l'on observe, » c'est la ligne d'intersection du cône, dont le sommet est dans l'œil, » et qui a pour base le cercle ci-dessus, avec la surface sur laquelle » l'œil reporte le phénomène. Cette courbe, on le voit, est une hy- » perbole à courbure insensible. » Pour faire cette expérience, on avait placé la feuille de mica horizontalement, et l'angle d'incidence, compté à partir de l'œil, était beaucoup plus grand que 45°. Sur le

Digitized by Google

mica donc, les bandes d'interférence concentriques forment de véritables cercles, mais on ne voit chacun d'eux que dans une seule direction; cette direction est perpendiculaire à l'un des cercles et se trouve en même temps sur la surface du cône mentionné : l'œil fixé dans cette direction voit réellement la projection sur le plan perpendiculaire à l'axe de vision. La projection sur l'axe de vision, ainsi que la projection sur le plan vertical transversal à cet axe, sur lequel se réfléchit l'image de la flamme d'alcohol salé, forme une hyperbole, si l'angle d'incidence, compté à partir de l'œil, est plus grand que 45°; une parabole, s'il est de 45°; enfin, une ellipse, s'il est plus petit que 45°. L'hyperbole s'approche d'une ligne droite à mesure que la direction dans laquelle l'œil observe la feuille de mica est plus oblique. En plaçant derrière la tête la surface de papier éclairée par la lampe et réfléchie par la feuille de mica, l'on peut aisément observer la courbure des bandes à leurs extrémités.

» Si l'on fait tomber directement un rayon de lumière solaire à travers l'ouverture d'un volet, sur une mince feuille de mica, on obtient un système réfléchi de bandes d'interférence colorées, perpendiculaires aux plans d'incidence. La ligne moyenne transversale est blanche.

» Dans la lumière réfléchie les bandes parallèles noires s'observent très-nettement. Pour cela, on place la feuille de mica devant un fond noir, le contraste de la lumière claire réfléchie avec le fond noir est très-frappant. Sous l'angle de polarisation, toute la lumière appartenant à la bande claire est polarisée dans le plan d'incidence, et peut être éteinte au moyen d'un prisme de Nicol, dont la grande diagonale est placée transversalement; si l'on place obliquement la feuille de mica entre l'œil et la flamme homogène, on voit encore directement les lignes parallèles, mais le phénomène est alors beaucoup moins brillant. »

M. Haidinger remarque ensuite avec raison que ses observations ont beaucoup d'analogie avec l'expérience de M. Wrede, dont nous avons parlé tant de fois déjà.

Note sur les anneaux colorés dans certains fluides ou milieux dichromatiques, observations de M. LŒWE, *rédaction de* M. HAIDINGER.

« M. Lœwe, directeur général des monnaies de Vienne, a remarqué

Digitized by Google

qu'en regardant à travers une dissolution de chlorure de chrôme dans l'eau, renfermée dans un vase cylindrique, on aperçoit sur le fond vert des anneaux violets. Que l'œil de l'observateur soit situé dans la direction de l'axe du vase ou dans une autre direction quelconque, ce phénomène a toujours lieu, pourvu que le vert de la dissolution, placé en face de l'œil, puisse servir de fond aux anneaux violets. On peut comparer la grandeur des anneaux à l'iris de l'œil; l'espace intérieur rappelle la pupille, dont le diamètre est à peu près le tiers du diamètre de l'anneau.

» La vivacité du phénomène est la même, soit que le vase qui renferme la solution se trouve immédiatement devant l'œil, soit qu'on l'éloigne à la distance de la vue distincte. Entre les deux faces parallèles d'un large vase quadrangulaire, les anneaux apparaissent aussi très-nets.

» M. Lœwe examina ensuite d'autres liquides, et d'abord ceux qui, quand la solution est plus étendue, apparaissent verts comme le chlorure de chrôme, ou qui, en solution plus concentrée, se montrent rouges comme le chrôme alunisé, ou le manganate vert de potasse, qui passe au rouge dans son oxydation. Les anneaux de ce dernier liquide se montraient violets comme ceux du chlorure de chrôme, tandis que ceux du chrôme alunisé, dont la solution penche davantage vers le bleu, avaient la couleur du bleu d'indigo.

» A mesure qu'on fixe plus longtemps un même point de la solution, la vivacité du phénomène diminue, et le champ de la vision se colore d'une teinte uniforme. Mais l'œil a été réellement excité par l'impression qu'il a reçue, car, si l'on détourne le regard de la solution pour le porter sur un mur blanc, on aperçoit distinctement un anneau de couleur complémentaire, c'est-à-dire vert et un peu jaunâtre, après les anneaux violets du chlorure de chrôme; d'un jaune éclatant, après les anneaux bleus du chrôme alunisé. La saturation de l'œil, par l'impression vive de la blancheur du mur, excite l'œil et le rend plus apte à bien saisir les anneaux primitifs.

» D'autres milieux diaphanes, comme le chlorure et l'acétate de cuivre, ne donnent point d'anneaux, mais une tache d'une couleur plus saillante dans l'axe optique, d'où résulte, si on reporte les regards sur le mur blanc, une tache de couleur complémentaire très-vive. Des milieux rouges et jaunes donnent les mêmes résultats.

Digitized by Google

» Les liquides ci-dessus mentionnés appartiennent à la classe des milieux que M. Herschel a désignés sous le nom de milieux dichromatiques, parce qu'ils ont réellement deux couleurs distinctes; et cette propriété est sans doute la cause de la plus grande vivacité du phénomène observé. Dans les milieux de couleur parfaitement uniforme, ou qui n'ont réellement qu'une seule couleur, et qui ne laissent par conséquent parvenir à l'œil que la nuance correspondante au seul rayon lumineux qu'elles émettent, la portion la plus mince sera la plus claire; celles qui l'entourent le seront moins, mais elles conserveront la même couleur, et ne se distingueront que par un degré plus ou moins élevé de clarté ou d'obscurité.

» Le cas est très-différent, s'il s'agit des milieux dichromatiques dont nous parlions tout à l'heure. Il importe avant tout de faire observer que, dans ces milieux, et principalement dans ceux qui apparaissent verts et violets, les deux couleurs sont en même temps des couleurs complémentaires, les couleurs accidentelles de quelques physiciens, les couleurs physiologiques ou subjectives de Goethe. Si l'on regarde à travers un de ces milieux dichromatiques, la portion de la rétine la plus voisine de l'axe optique est affectée ou excitée par une impression d'une certaine intensité. Les parties environnantes, par là même, seront mieux disposées à recevoir l'impression complémentaire. Mais le milieu, de son côté, tend à produire cette même impression complémentaire; et s'il ne la produit pas immédiatement, c'est que sa seconde couleur est en quelque sorte éclipsée par la vivacité plus grande de la première couleur; les deux aptitudes de la rétine et du milieu, en s'ajoutant, font naître l'impression de la couleur complémentaire, sous forme d'anneau embrassant un segment circulaire de la rétine, autour et près de l'axe de vision; l'impression est beaucoup moins vive sur les portions plus éloignées de la rétine.

» On peut encore envisager ces phénomènes sous le rapport des spectres donnés par les milieux dichromatiques. Les milieux colorés, ou chromatiques ordinaires, n'ont qu'un seul maximum de lumière. Ainsi, les milieux verts deviennent plus verts à mesure qu'ils sont plus épais, comme, par exemple, les verres verts, les solutions vertes de nickel, et quelques solutions vertes de cuivre, etc. — Les milieux dichromatiques ont deux maxima: dans le chlorure de chrôme, l'un est vert, l'autre est rouge. Si la portion de l'œil la plus voisine de

Digitized by Google

l'axe optique est affectée plus fortement par l'un des maxima, l'effet de l'autre maximum se montre immédiatement aux parties environnantes, et produit l'anneau observé; l'action du maximum, qu'on ne perçoit pas directement, diminue régulièrement d'intensité et de teinte.

» Il resterait encore beaucoup de solutions à observer, mais il importe plus encore d'étudier les verres colorés ordinaires. La plupart d'entre eux ne donnent que peu ou point de résultats; on aperçoit tout au plus une tache plus foncée, produite par l'impression plus grande qui a lieu dans la direction centrale. Les verres verts donnent une tache jaunâtre, les verres violets contenant du manganèse donnent une tache bleue. Les nuances des taches sont celles que l'on obtiendrait en superposant plusieurs verres ou plaques.

» Les verres bleus de cobalt, qui possèdent, d'après M. Herschel, deux maxima de couleurs, montrent aussi les anneaux avec une netteté parfaite. M. Haidinger a remarqué en outre, dans le champ intérieur plus clair, un point obscur singulier. On sait que pour produire nettement les deux maxima de couleurs on n'a qu'à regarder une lumière, la flamme, par exemple, d'une bougie à travers un prisme, en interposant le verre bleu entre l'œil et le spectre. A mesure que l'épaisseur croît, on voit deux flammes séparées, l'une rouge et l'autre bleue. Avec le chlorure de chrôme on voit aussi les deux images séparées de la flamme.

» Pour rendre les anneaux plus visibles, il faut regarder fixement à travers plusieurs plaques de verre bleu, posées l'une sur l'autre, et les incliner de plus en plus. Il faut naturellement que le fond soit uniforme et bien clair, comme, par exemple, un ciel couvert de nuages blancs-grisâtres.

» M. Lœwe a indiqué un autre moyen d'observer des anneaux très distincts : on regarde à une certaine distance le champ diaphane ou transparent de lumière uniforme, puis on le rapproche peu à peu de l'œil. Si ensuite on l'éloigne de nouveau en le reportant à une distance de plus en plus grande, on voit apparaître une tache plus claire, qui arrive même à la couleur complémentaire.

» Quand on sature l'œil gauche, en regardant fixement pendant quelque temps une plaque de verre bleu qu'on tient dans la main droite, puis qu'on porte subitement le regard sur un papier blanc

Digitized by Google

qu'on tient dans la main gauche, on a la sensation de la couleur complémentaire brun-orangée du milieu, avec un anneau clair couleur de soufre.

» Mais il est aussi des milieux qui, n'ayant qu'un seul maximum, présentent cependant le phénomène des anneaux. Parmi ces milieux il faut citer surtout les solutions d'oxyde de cuivre dans l'ammoniac caustique, dont la belle couleur bleue tend, d'après Herschel, au violet, en laissant passer à travers les plus grandes épaisseurs le rayon violet pur. Cette fois les anneaux sont plus foncés, bleus et tendant vers le violet.

» Placée à une distance plus grande de l'œil, une surface de même grandeur paraît plus foncée; plus rapprochée de l'œil, elle devient plus claire, mais l'anneau se montre toujours.

» *Croix de Saint-André.*—En répétant les expériences de M. Lœwe, M. Haidinger a fait l'observation très-curieuse d'une nouvelle apparition optique. On place pendant quelque temps un verre de couleur bleu-foncée entre l'œil et le gris-clair uniforme des nuages. En l'éloignant subitement on aperçoit dans la direction de la vision, en outre de l'anneau complémentaire un peu plus clair, ou du moins d'une tache plus claire, suivant que l'œil a été plus ou moins impressionné par le verre bleu, deux lignes qui se dessinent sur la tache ou sur l'anneau en forme de croix de Saint-André. Elles s'étendent d'abord sur tout le champ de la vision, mais peu à peu leur vivacité diminue, et elles se perdent dans le fond uniforme de la lumière des nuages. Cette croix de Saint-André apparaît encore lorsqu'après avoir couvert pendant quelque temps les yeux avec la main, on les ouvre ensuite rapidement. Si l'on incline la tête de 45°, la croix se montre comme formée d'un trait de lumière horizontal et d'un trait vertical, et ce fait prouve que les lignes qui forment la croix sont fixes dans l'œil et ne ressemblent pas, par conséquent, aux houppes de la lumière polarisée, dont la position dépend du plan de polarisation. »

M. Haidinger cherche ensuite à expliquer cette singulière apparition par la structure du cristallin de l'œil humain, formé, comme l'ont démontré MM. Warneck, Hannover et Weld, de divers systèmes de fibres se coupant suivant trois systèmes de lignes, l'une horizontale, les deux autres unies et verticales. C'est probablement à l'existence de ces deux lignes d'intersection que serait due la for-

Digitized by Google

mation de la croix de Saint-André, quoique l'on n'explique pas encore assez parfaitement de cette manière l'angle presque droit que les deux branches de la croix forment entre elles.

Sur la série des couleurs dans les anneaux de NEWTON, par ERNEST BRUCKE.

« On taille, au moyen d'un couteau bien tranchant, une lame de gypse cristallisé de manière à ce que le plan incliné de la taille forme avec la lame un angle dièdre de dix degrés environ, et on la noie ensuite dans une couche de baume de Canada, après l'avoir mise entre deux lames de verre. Le bord tranchant, vu à travers deux prismes de Nicol, avec un grossissement de vingt fois, présente un système de bandes analogue aux anneaux de Newton, et qui donne les anneaux correspondants à ceux de la lumière réfléchie quand les prismes sont croisés, et les anneaux de la lumière transmise quand les prismes sont parallèles l'un à l'autre.

» Pour mettre mieux en évidence les couleurs propres de ces divers anneaux et les mieux comparer aux couleurs du spectre, on représente sur une feuille de papier un spectre complet allant de l'extrémité rouge jusqu'à l'extrémité gris-lavande, de manière que les couleurs se trouvent l'une à côté de l'autre dans le sens horizontal. Ensuite on partage le spectre entier dans le sens vertical, en sections claires et sombres, de manière que les divisions correspondantes à chaque couleur soient proportionnelles aux longueurs d'onde. Si l'on commence ces divisions par une demi-phase sombre, à partir d'une droite menée horizontalement à travers le spectre, les sections transversales du spectre qui sont parallèles à cette ligne horizontale donnent, en se succédant, la série des couleurs du système d'anneaux de Newton, en ce sens que les couleurs dont la coupe transversale se trouve dans une phase claire forment la couleur de la lumière réfléchie, et que les couleurs dont la coupe transversale se trouve dans une phase sombre forment la couleur de la lumière transmise. Le contraire a lieu si les divisions commencent par une demi-phase claire.

» Après s'être procuré de cette manière une vue générale sur la composition des couleurs, il reste à examiner les nuances intermé-

Digitized by Google

diaires. Pour y parvenir, je me suis servi de lames de gypse taillées de la manière ci-dessus indiquée. Ayant examiné un grand nombre de ces lames au moyen du microscope polarisant et sous divers grossissements, je suis arrivé à reconnaître plus parfaitement la série des couleurs des anneaux, et à m'assurer que plusieurs déterminations antérieures sont réellement inexactes. J'ai soumis ainsi la série des couleurs des anneaux de Newton, série qui offre tant d'intérêts sous le rapport de la Chromatique, à de nouvelles expériences plus concluantes.

» Considérons d'abord les couleurs du système d'anneaux de Newton dans la lumière réfléchie, en même temps que les teintes complémentaires, c'est-à-dire les couleurs des anneaux dans la lumière transmise.

» D'après Newton, le premier anneau près du centre noir est bleu. Cependant il dit lui-même (*Opt.* II, Part. I, Obs. IV) : » *Coloris* » *cœrulei adeò pusillum erat quod aspectu perciperetur, ut eum in* » *circulis, quos prismata exhibuerunt, discernere omninò non po-* » *tuerim; neque verò in eo violacei quidquam distinctè cernere* » *potui.* »

» En effet, cette couleur n'est pas bleue, mais gris-lavande. Les rayons gris-lavande, comme les plus réfrangibles, apparaissent les premiers, et les autres se mêlent à eux dans des proportions telles que, par l'empiétement des rayons bleus et violets sur les rayons moins réfrangibles, leur teinte particulière se conserve et ne semble s'approcher de plus en plus du blanc que par sa clarté croissante.

» Le complément de ce gris-lavande, c'est, comme je l'ai récemment montré, un beau brun pur, qui devient plus saturé et plus foncé à mesure que la clarté du gris-lavande augmente. Newton appelle cette couleur : « *Rubeus flavescens*, » probablement parce que son verre coloré ne lui permettait pas de la distinguer mieux.

» La seconde couleur, en partant du centre, d'après Newton, est blanche; mais ce blanc n'est pas pur. Si le gris-lavande est arrivé à un certain degré de clarté, il devient un peu vert, le vert ayant atteint alors le maximum de son intensité, tandis que le rouge, à cause de sa plus grande longueur d'onde, est encore en retard; puis il passe au jaune-paille très-pâle. Cette phase est la plus claire du premier système d'anneaux, et son complément est un brun-rougeâtre foncé.

Digitized by Google

qui précède une autre teinte que l'on pourrait désigner comme un mélange du violet le plus foncé avec un peu de gris.

» Le véritable noir n'existe nulle part. Le jaune-pâle mentionné se transforme bientôt en un jaune-brunâtre, qui devient successivement orangé-foncé et rouge-foncé ; c'est avec cette dernière teinte que finit, d'après la division de Newton, le premier système d'anneaux. Les couleurs complémentaires des couleurs qui viennent d'être nommées sont les suivantes : violet-foncé non pur, bleu-grisâtre, bleu-grisâtre plus pâle, et enfin vert très-pâle non pur.

» Le second système d'anneaux de Newton commence par l'apparition des rayons violets et gris-lavandes dans leur seconde phase claire. On voit se développer successivement des teintes : pourpre, indigo, bleu-ciel, vert-clair, jaune. Entre ces deux dernières, l'intensité de lumière est la plus grande. Ce jaune diffère essentiellement du jaune dans le premier système ; il tient du jaune pur du spectre et précède un orangé clair suivi d'un rouge moyen très-clair. Les couleurs de la lumière transmise de ce système sont : vert-jaunâtre clair, jaune-clair, jaune d'or, orangé, rouge, pourpre foncé, violet ; ensuite, à mesure que la clarté augmente, bleu et vert.

» Le troisième système d'anneaux commence comme le second par le pourpre ; puis vient le violet, l'indigo, le bleu ; ces teintes ne sont pas pures ; enfin, vert de mer et vert ; ce dernier vert est le plus brillant de tous les systèmes d'anneaux précédents. Ce vert se transforme successivement en vert-jaunâtre pâle, jaune-pâle, rouge-chair et rouge. Les couleurs complémentaires de ce système sont les suivantes : vert-jaunâtre clair, vert non-pur, rouge-chair complément du vert de mer, rouge, pourpre, bleu-grisâtre, vert de mer et vert brillant.

» La nuance intermédiaire entre le troisième et le quatrième système d'anneaux a été désignée par Newton en finissant le troisième système par : « *ruber subcœruleus*, » et en commençant le quatrième par : « *viridis subcœruleus.* » Ces expressions sont aussi fidèles que le permet la pauvreté de la langue relativement aux couleurs. Mais il faut observer que le « *ruber subcœruleus* » ne correspond pas au pourpre, ni le « *viridis subcœruleus* » au vert de mer du système précédent. Les deux teintes sont pâles et effacées, comme si elles étaient couvertes d'un voile. Puis vient un vert très-vif, qui, d'après

Digitized by Google

Newton, se transforme ensuite en gris-jaunâtre et rouge. Mais ici je ne suis pas d'accord avec lui. Je trouve seulement que ce vert précède une teinte verte plus claire, suivie de vert-grisâtre, rouge-grisâtre et de rouge-chair très-vif. Il est très-difficile de distinguer cette nuance intermédiaire, mais on y arrive au moyen de la couleur complémentaire. On trouve alors que le rouge complémentaire est suivi non de pourpre, mais d'une nuance sale rouge et du vert complémentaire.

» Le cinquième système commence par un rouge qui tient du fauve, suivi de vert-bleuâtre pâle, d'une nuance également fauve, et enfin de rouge-chair pâle. Les couleurs complémentaires sont : rouge-chair pâle et gris-bleuâtre pâle.

» Le sixième système présente les teintes suivantes : d'abord rouge-chair, ensuite gris-rougâtre, vert-bleuâtre pâle et rouge-chair très-pâle.

» A partir de ce point on ne peut plus distinguer les nuances intermédiaires. On observe seulement les couleurs principales des septième et huitième systèmes, savoir, le rouge-chair très-pâle et le vert-bleuâtre. »

Sur les anneaux colorés de NEWTON, par MM. F. DE LA PROVOSTAYE et P. DESAINS.

On sait que la théorie des ondulations rend compte de presque toutes les particularités du phénomène des anneaux colorés observés par Newton. Sur un point seulement il reste une difficulté assez grave. En observant sous différentes incidences les diamètres des anneaux formés entre deux lentilles de verre, Newton dit avoir reconnu que les épaisseurs des lames minces d'air qui correspondent successivement à un anneau de même ordre varient proportionnellement à la sécante d'un angle qui peut être défini par la relation

$$\sin u = \frac{\left(105 + \frac{1}{n}\right)}{106} \sin r.$$

n est l'indice de réfraction du verre, et r l'angle que, dans la lame mince, le rayon lumineux fait avec la normale.

La valeur numérique de sec u ne diffère pas sensiblement de sec r

Digitized by Google

tant que r ne dépasse pas 60 degrés. Pour des valeurs de r supérieures à cette limite, sec u est moindre que sec r, et la différence devient considérable au-dessus de 80 degrés.

D'après la théorie des ondulations, les épaisseurs devraient être pour toutes les incidences proportionnelles à sec r. Fresnel et Herschel se sont préoccupés de cette différence qui, suivant le dernier, constitue une objection importante à la théorie des ondulations. Pour l'expliquer, ils ont admis comme possible l'inexactitude de la loi de Descartes dans le passage très-oblique des rayons entre deux surfaces aussi rapprochées (Fresnel, *Supplément à la chimie de Thomson*, tome V, page 75; — Herschel, *Traité de la lumière*, tome I, page 434).

Dans le cours d'une série d'expériences entreprises pour étudier le phénomène des anneaux colorés, nous avons eu occasion de nous convaincre que, contrairement à l'assertion de Newton, la loi théorique s'accorde parfaitement avec les observations jusqu'aux dernières limites où il nous ait été possible d'apercevoir nettement les anneaux. Cette limite est 85° 21′.

L'inclinaison nous était donnée avec certitude par un théodolite de Gambey. Les anneaux étaient formés dans la lumière homogène fournie par une lampe alimentée d'alcohol salé. Leurs diamètres étaient mesurés de la manière suivante :

Le système des deux verres placés sur un support parfaitement horizontal pouvait être mis en mouvement par une bonne vis micrométrique dont l'axe était perpendiculaire au plan du cercle vertical du théodolite. On amenait successivement la partie la plus sombre de chaque anneau noir sous le fil vertical de la lunette. On conçoit que la marche de la vis, qui donnait les deux centièmes de millimètre, pût faire connaître sans aucune correction les diamètres réels des anneaux.

Sur les anneaux colorés et sur deux nouveaux instruments, par E.-B. Jérichau.

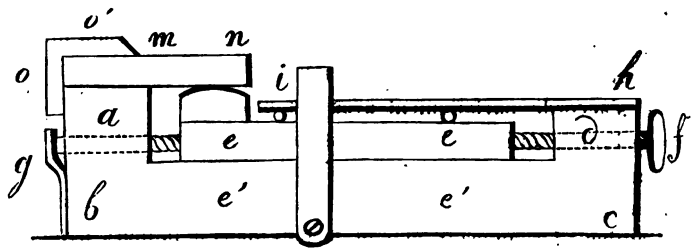
« Les anneaux colorés se forment dans l'espace étroit qui existe entre un verre plan et un verre convexe très-aplati, lorsqu'on serre ces deux verres l'un sur l'autre. Pour mesurer la largeur des an-

Digitized by Google

neaux, Newton calcule la distance des verres dans les points où l'on ne voit pas de couleurs ; mais, pour cela, il part de cette supposition qu'en employant une pression les verres sont en contact, ce que j'ai trouvé inexact. C'est pourquoi j'ai fait construire un instrument particulier au moyen duquel les verres peuvent être ou bien amenés au contact, ou bien être éloignés à une distance de plusieurs longueurs d'ondulation.

» J'ai donné à cet instrument le nom de *gyréidoscope;* il est représenté fig. 1.

Fig. 1



» La partie *abcd* est en laiton; *ee* est une règle d'acier qui peut être avancée ou reculée de quelques lignes sur le support bien uni *e'e'* au moyen de la vis *f*; le ressort *g* tient la règle d'acier continuellement appuyée contre la vis; un second ressort *hi* presse de haut en bas la règle d'acier et suit ses mouvements ; le verre plan *mn* est attaché au moyen de la pièce *oo'* sur la face *a;* il est dirigé de manière à ce que son plan forme un angle très-aigu avec le support *e'e';* par conséquent, la distance est plus grande en *n* qu'en *m*.

» Il résulte de là qu'en faisant avancer au moyen de la vis *f* le verre convexe, la distance entre les deux verres devient de plus en plus petite et qu'ils finissent par se toucher. Il est facile de calculer ce changement de distance entre les deux verres produit par un tour de la vis, quand on connaît l'inclinaison du verre plan sur le plan *e'e'*, et cette inclinaison se détermine en examinant la réflexion d'un même point sur les deux verres.

» Le gyréidoscope est muni d'un microscope qui permet de voir les

Digitized by Google

anneaux agrandis et d'une manière distincte, ainsi que d'un écran qui arrête les rayons qui ne contribuent pas à la formation des anneaux.

» Les observations faites avec cet instrument ont montré qu'il fallait modifier dans plusieurs points les recherches de Newton sur les anneaux colorés, avant de pouvoir conclure la distance des verres d'après une couleur donnée, et de pouvoir déterminer par là de petites grandeurs.

» En employant la lumière simple donnée par la flamme d'alcohol salé, on voit alternativement des anneaux obscurs et des anneaux brillants de la même couleur que la lumière; les anneaux brillants sont quatre fois plus larges que les anneaux obscurs, et le passage des uns aux autres est assez tranché. Si l'on fait disparaître successivement un des anneaux après l'autre, en tournant en arrière la vis *f*, on peut compter plus de deux cents anneaux très-faciles à distinguer à l'œil nu ; on en voit un plus petit nombre au microscope, parce que celui-ci éclaircit de plus en plus les anneaux obscurs.

» Newton admettait que les anneaux obscurs et brillants avaient sensiblement la même largeur, ce qui s'accorde, en effet, avec sa théorie; mes expériences, au contraire, s'accordent mieux avec la théorie des interférences. Newton admettait également que la tache noire que l'on remarque au centre des anneaux, quand les verres sont à peu près en contact, avait la même origine que les anneaux obscurs produits par de la lumière homogène ; mais c'est ce qui n'a pas lieu. Cela s'explique mieux en admettant que la distance des deux verres est tellement petite qu'il ne peut plus se faire d'interférences, à cause de la très-petite différence de longueur des rayons, ou bien que l'éther entre les deux verres si rapprochés se trouve dans le même état ou presque dans le même état que dans les verres eux-mêmes. Par l'une ou l'autre de ces causes la lumière traverse sans altération la partie centrale des verres jusqu'à l'endroit où le premier anneau brillant commence à se former, et cette partie centrale des anneaux paraît obscure comme le paraît un trou dans l'étamage d'un miroir. C'est pour cela qu'un miroir métallique blanc montre un petit disque de lumière non altérée, qui se termine non à un anneau obscur, mais au premier anneau brillant ; et les bulles de savon montrent que le

Digitized by Google

petit disque obscur passe à la lumière brusquement et non pas petit à petit, avec une limite bien tranchée qui se trouve au milieu de l'anneau brillant. Le disque ne s'élargit pas quand on le regarde sous des incidences obliques.

» Plusieurs phénomènes semblent montrer que le passage subit de la lumière à l'obscurité, ou de l'interférence à la non-interférence, dépend en partie de l'adhérence des corps, qui pour cette distance paraît subitement agrandie; pour une distance plus petite il représente, au contraire, une répulsion. On peut amener les verres jusqu'au contact, mais alors le disque obscur devient tellement grand, que l'on a un anneau obscur sur le bord, et au milieu un disque brillant, et les verres se trouvent alors plus rapprochés de près d'un quart d'ondulation que dans la position où Newton pose la distance égale à zéro. La loi qu'il a énoncée, que les diamètres des anneaux obscurs sont entre eux comme les racines carrées des nombres pairs 0, 2, 4, 6, et que les diamètres des anneaux brillants sont entre eux comme les racines carrées des nombres impairs 1, 3, 5, 7, n'est exacte à cause de cela que lorsque la plus petite distance entre les verres est d'un quart d'ondulation; mais quand les verres sont amenés au contact, il faut remplacer dans l'énoncé précédent les nombres pairs par les nombres impairs, et réciproquement.

» Cette erreur est restée jusqu'ici inconnue, et l'on a cherché à faire cadrer les observations et les calculs sur les anneaux colorés avec l'hypothèse où les verres de Newton sont en contact parfait, que les anneaux réfléchis commencent par un disque obscur, et que les couleurs transmises sont complémentaires de celles qui sont réfléchies; on est arrivé alors à des résultats qui sont souvent contraires à la vérité, puisque, d'après la théorie de Young, il y a perte d'une demi-ondulation. On n'a pas pensé qu'une combinaison de couleurs produisant du noir était une chose impossible.

» On peut se rendre compte d'une manière exacte de la composition de l'image colorée avec la lumière ordinaire par la construction suivante. Supposons que, dans un cercle dont ac et bd sont deux diamètres perpendiculaires, les couleurs se meuvent dans la direction $a\ b\ c\ d$ avec une vitesse égale à la longueur d'ondulation. En a, la couleur présente le maximum d'éclat; en c, elle présente son minimum. Le blanc le plus brillant, pour lequel les verres forment de-

Digitized by Google

la lumière réfléchie, se présente lorsque la distance des verres est égale à une demi-longueur d'ondulation de la couleur la plus vive du spectre, parce que dans ce cas les autres couleurs sont aussi près de leur maximum. Maintenant, si l'on fait mouvoir les couleurs prismatiques dans la direction indiquée, elles s'étendront sur le cercle proportionnellement à leurs vitesses d'ondulation; ainsi l'extrémité violette du spectre marche en avant, et l'intensité de chaque rayon coloré est d'autant plus faible qu'il est plus éloigné du point *a*, et que la couleur occupe plus d'étendue sur le cercle. Tous les ordres de couleurs se forment par les résultantes des couleurs en chaque point. Après le huitième et le neuvième ordre les anneaux colorés ne sont plus visibles; car alors l'image colorée a fait plusieurs fois le tour du cercle, toutes les couleurs se trouvent à la fois en chaque point et produisent alors une faible teinte blanche.

» Chaque fois que la couleur prismatique la plus vive est au minimum, on trouve un nouvel ordre de couleur avec un bord rouge, et comme la longueur d'ondulation de cette couleur, d'après Fraunhofer, est de 21,1 millionièmes d'un pouce français, nous pouvons former d'après cela une échelle pour la véritable distance des verres, là où un bord rouge se présente au centre des anneaux; cela donne des distances plus grandes que l'échelle de Newton, mais les différences entre les limites ne sont que des grandeurs très-petites. La loi donnée par Newton sur le changement qui survient dans l'échelle, quand on regarde les anneaux sous différentes inclinaisons, paraît pouvoir être ramenée à la loi correspondante de la théorie des ondulations, savoir : que les variations de l'échelle se trouvent dans le rapport inverse du cosinus de l'angle d'inclinaison, quand nous prenons le point *o* pour la distance des verres qui donnent le premier anneau brillant.

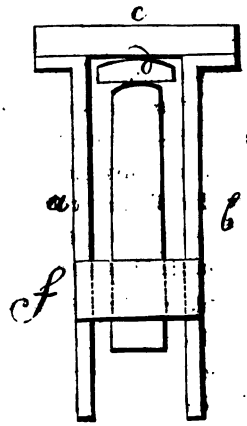
» On détermine facilement, au moyen du gyréidoscope, l'indice de réfraction d'une substance liquide, quand on en place une goutte entre les verres, et que l'on mesure la distance des verres qui correspond aux anneaux obscurs. L'appareil est également très-propre aux expériences d'interférences avec les miroirs.

» Je donne le nom de *thermomicromètre* à un autre instrument qui a pour but de mesurer par les anneaux colorés les petites dilatations des corps par la chaleur. Cet instrument est représenté fig. 2.

Digitized by Google

» *a* et *b* sont deux plaques qui portent un verre plan *c*; au-dessous se trouve un verre convexe très-aplati *d*, qui est pressé contre le verre plan par un corps *e* (par exemple, une lamelle de zinc). Ce corps est attaché sur une traverse *f*, qui peut être fixée à différentes

Fig 2.



hauteurs. Le verre plan est réglé, au moyen de vis, de manière à porter, si on le désire, les couleurs au point central. Les extrémités inférieures des montants *a*, *b*, sont fixées, au moyen de vis, sur un support auquel se trouvent adaptées en même temps les autres parties de l'instrument, savoir : une boîte qui, à une certaine distance, enveloppe tout le thermomicromètre, excepté cependant le dessus, pour arrêter la chaleur extérieure. Cette boîte porte un petit tuyau par lequel on peut faire entrer les rayons calorifiques qui doivent agir sur le corps *e*. On regarde les anneaux colorés au moyen d'un microscope qui est monté sur une alidade se mouvant sur un arc de cercle divisé. Un écran, destiné à arrêter les rayons lumineux qui ne doivent pas agir, est mis en mouvement au moyen d'arcs excentriques qui sont fixés sur l'axe de l'alidade. Un verre plan et un miroir parabolique envoient les rayons lumineux venant d'un point convenablement choisi du ciel, ou provenant d'une lampe, sous l'angle convenable pour produire les anneaux colorés. Les angles les plus convenables sont compris entre 15° et 50°.

» Le thermomicromètre est employé de la manière suivante : on

Digitized by Google

ajuste le corps dont on veut observer la dilatation, et l'on donne au microscope une inclinaison de 40 à 50° (quelquefois de 15 à 20°), et l'on place le verre plan de telle manière que la couleur rouge dont on veut partir devienne visible au centre des anneaux. Après quoi, l'on amène la limite des couleurs dans le centre du microscope, en disposant de nouveau le microscope au moment où l'on veut faire l'observation. Si l'on veut trouver dans un autre moment la dilatation, on fait marcher le microscope jusqu'à ce qu'on voie de nouveau, au centre, la même couleur ou une autre voisine. Si la dilatation continue, on fait une nouvelle observation; et ainsi de suite, au moyen des divisions parcourues par l'alidade et d'une table calculée sur les lois énoncées, on peut déterminer la dilatation des corps. Si l'on veut connaître la température pour laquelle la dilatation a eu lieu, on place dans l'intérieur du thermomicromètre un thermomètre très-sensible.

» Les personnes habituées à observer trouveront facilement les petites précautions à prendre dans ces expériences, et qu'il serait trop long d'indiquer dans cet extrait. Pour montrer l'extrême sensibilité de l'instrument, j'indiquerai le résultat suivant : si l'on touche la lamelle de zinc avec la pointe du doigt, la dilatation du métal est tellement considérable, que tous les ordres de couleurs vont passer en un seul moment.

» Il est évident que la chaleur commence par dilater toutes les parties de l'instrument, de sorte qu'il faut commencer par déterminer ces dilatations à l'aide d'expériences préliminaires. On fait trois séries d'observations pour un nombre suffisant d'intervalles très-petits, mais égaux de température, savoir :

» 1° Avec les plaques *a*, *b*, de laiton, et une lamelle de zinc ;

» 2° Avec les plaques *a*, *b*, de laiton, et une lamelle de zinc ;

» 3° Avec les plaques *a*, *b*, en cuivre, et une lamelle de zinc ;

et de chacune de ces séries on déduit une loi pour la dilatation d, d'après la formule empirique :

$$d = \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \ldots$$

» Si l'on ajoute deux à deux ces formules, et qu'on retranche la troisième, on a des lois particulières pour la dilatation du laiton, du cuivre et du zinc. En répétant les expériences avec des lamelles de zinc de différentes longueurs, on trouve l'influence de la dilata-

Digitized by Google

tion du verre sur les coefficients, on a alors déterminé les dilatations des diverses parties de l'appareil.

» Cet appareil peut servir à déterminer non-seulement la dilatation des corps ordinaires, mais encore celle des corps cristallisés, suivant les différents axes. On pourra l'employer également pour mesurer la dilatation des boules et des tubes des thermomètres, et par suite celle du mercure et des autres liquides.

» La chaleur qui se dégage dans la compression des liquides peut être déterminée au moyen d'un thermomicromètre, formé par deux fils d'acier portant le verre plan et une lamelle de zinc portant le verre convexe. L'instrument est plongé dans le liquide, et on l'éclaire avec la lumière homogène.

» On peut faire les expériences sur la chaleur rayonnante au moyen d'une lamelle de zinc, placée comme corps thermoscopique dans le thermomicromètre. Cette lamelle se dilate d'une manière très-sensible par des chaleurs extrêmement faibles, et atteint son maximum en une minute et demie. Toutes les expériences qui se font avec le thermoscope de Melloni peuvent être faites avec le thermomicromètre. Ce dernier instrument donne même des résultats plus précis et mesurables pour les petits degrés. Nous pouvons aller encore plus loin, et produire des phénomènes d'interférences en remplaçant la lamelle de zinc par un fil de zinc. Ce genre de recherches doit être fait à une température constante. »

Sur la réfraction de la lumière et les anneaux colorés au delà de l'angle critique, par M. G.-G. STOKES.

Le principal objet de cette communication est de faire connaître une expression obtenue d'après les principes de la théorie ondulatoire pour l'intensité de lumière de la tache centrale des anneaux de Newton, quand l'angle d'incidence excède l'angle critique. Les physiciens qui ont traité dynamiquement le sujet de la réflexion et de la réfraction de la lumière ont démontré que, lorsque l'angle d'incidence surpasse l'angle critique, l'expression qui donne la perturbation dans le second milieu renferme une exponentielle qui comprend l'ordonnée perpendiculaire à la surface, de façon que la perturbation est insensible à une distance de la surface qui est un faible multiple de la longueur d'onde. Les expressions pour la perturbation super-

Digitized by Google

ficielle, du moins à la connaissance de l'auteur, n'ont pas encore été appliquées à l'explication d'un phénomène quelconque, quoique l'existence de la tache centrale dans les anneaux de Newton ait, sans hésitation aucune, été attribuée à cette cause par M. Lloyd, dans son rapport sur l'optique physique. L'auteur n'a eu recours à aucune théorie dynamique particulière; il a préféré déduire ses résultats des expressions de Fresnel pour l'intensité de la lumière polarisée, réfléchie et réfractée, qui, si l'on excepte peut-être le cas de substances extrêmement réfringentes, sont au moins une très-grande approximation de la vérité. La méthode employée n'exige pas même que l'on soulève la difficile question de savoir si les vibrations du rayon de lumière polarisée sont dans le plan de polarisation ou lui sont perpendiculaires. Lorsque l'angle d'incidence excède l'angle critique, les expressions de Fresnel deviennent imaginaires, et, par un raisonnement semblable à celui employé par M. O'Brien, dans l'interprétation de ces formules pour le cas de la lumière réfléchie, l'auteur arrive à calculer les amplitudes des vibrations réfléchies et réfractées dont il déduit ensuite l'expression des intensités de la lumière réfléchie: cette expression le conduit aux conséquences suivantes :

1° Au point de contact il y a obscurité absolue, et en s'éloignant de ce point l'intensité augmente d'abord très-lentement, de façon qu'à quelque distance autour du centre l'obscurité est parfaite pour nos sens. A partir de ce point l'intensité augmente plus rapidement, puis s'approche assez brusquement de sa valeur limite. Cette conséquence est d'accord avec l'observation.

2° Pour les différentes couleurs, la même fraction de la lumière incidente est réfléchie en des points pour lesquels le rayon mesuré du point de contact varie comme la racine carrée de la largeur d'une onde. Ainsi, la tache est plus grande pour la lumière rouge que pour la lumière violette, et la séparation des couleurs est facile. Il y a encore ici accord avec l'observation.

3° Lorsque l'angle d'incidence se trouve entre l'angle critique et un certain angle déterminé par une expression simple, la lumière est plus intense pour la lumière polarisée dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence, que pour la lumière polarisée dans ce dernier plan, tandis qu'entre le dernier angle et 90° le contraire a lieu.

Digitized by Google

Cette différence de dimension est aussi un fait d'observation ; mais il est impossible de dire sous quel angle ce changement a lieu.

4° Supposons que la lumière incidente intérieure est polarisée sous un azimut de 45° ou à peu de chose près, et analysons la lumière transmise de manière à ce que le centre de la tache devienne sombre ; on devrait alors apercevoir un anneau pâle de lumière séparant le centre du champ généralement obscur de la vision. Cet anneau devrait être bleuâtre à l'intérieur et rougeâtre ou brunâtre à l'extérieur, et s'évanouir sous l'angle mentionné ci-dessus. L'auteur n'a pas essayé cette expérience.

Avant de quitter le chapitre des interférences, annonçons à nos lecteurs une bonne et grande nouvelle. M. Arago a eu mille fois raison d'exiger de nous une rétractation formelle. Sur les indications et sous la direction du célèbre physicien, M. Soleil a pu amener à des conditions d'interférence des rayons qui s'étaient séparés de quelques millimètres avant d'atteindre la loupe au foyer de laquelle les franges se forment. Le baromètre thermomètre et réfracteur interférentiel a donc été réalisé : il a donné et au delà tous les résultats merveilleux que nous avons longuement énumérés, pages 162, 163 et 164 de notre premier volume. C'est déjà trop peut-être que d'avoir trahi cet heureux secret ; nous n'avons pas le droit d'entrer dans plus de détails, et nous nous taisons. Il nous en coûte beaucoup de remettre à une seconde édition la figure, la description et la manipulation de ce magnifique appareil.

DIFFRACTION.

Ce curieux phénomène n'a donné naissance qu'à un très-petit nombre de recherches nouvelles. M. de Haldat a inséré, il y a longtemps, dans les Annales de physique et de chimie, une note curieuse que nous reproduisons intégralement ; M. Magnus a démontré que les phénomènes de la diffraction se produisaient même dans le vide ; lord Brougham enfin a enrichi d'une particularité intéressante les expériences de Newton.

Sur les causes de la diffraction, par M. DE HALDAT.

Les phénomènes de la diffraction, dont l'examen a fourni, dans

Digitized by Google

ces derniers temps, des arguments si puissants contre l'hypothèse de Newton, et ramené les physiciens vers l'opinion de Descartes, ont semblé à M. de Haldat n'avoir pas été suffisamment discutés par rapport aux circonstances qui peuvent les modifier et en éclairer la cause. C'est sous ce point de vue qu'il a tenté un grand nombre d'expériences dans lesquelles les corps qui produisent la diffraction, et qu'il nomme *diffringents*, ont été soumis à l'action des agents les plus propres à les modifier. Et comme la force attractive est la propriété de laquelle les Newtoniens ont fait dépendre la diffraction, il a mis en jeu, dans ses essais, tous les agents les plus capables de l'altérer. Après s'être assuré que, comme l'avaient annoncé plusieurs expérimentateurs, ce phénomène n'était modifié ni par la densité, ni par la nature chimique des corps, il a tourné ses vues vers les plus grands pouvoirs de la nature. Le calorique, l'électricité, le magnétisme, les courants électro-chimiques, l'affinité enfin, si puissante pour modifier la force attractive, ont été successivement et parfois même concurremment employés à modifier l'état des corps, pendant qu'ils exerçaient sur les rayons lumineux l'influence par laquelle est produite la diffraction, sans que les phénomènes qui la caractérisent aient éprouvé aucune altération sensible. Ainsi, des fils métalliques, des lames diffringentes de fer, de cuivre, d'argent, ont été chauffés jusqu'au rouge-blanc et refroidis jusqu'à — 10°, sans que les bandes colorées, produites par leur action sur les rayons lumineux, aient présenté de différence appréciable avec celles que produisent les mêmes corps à la température moyenne de l'atmosphère.

Des fils, des lames diffringentes, ont été parcourus par les courants de l'électricité ordinaire, par de violentes décharges de batteries puissantes, par des courants électro-chimiques assez énergiques pour les rougir et les fondre ; on a employé des courants mus dans la même direction ou dans des directions opposées ; on a reçu le trait de lumière sur les biseaux de lames diffringentes dont on avait armé un aimant très-puissant, sans que les phénomènes aient éprouvé aucune altération appréciable. Les traits de lumière ont même été, avant leur arrivée sur les lames ou les fils diffringents, traversés par des traits de flamme très-vifs, par des courants ou des décharges électriques puissantes, sans qu'aucun changement se soit manifesté dans les franges et les autres phénomènes de diffraction. Les bandes obscures,

Digitized by Google

dans l'ombre des fils déliés, sont demeurées de même invariables pour leur intensité ou leur dimension.

D'après ces expériences, M. de Haldat pense que l'explication de la diffraction, fondée sur l'influence de la force attractive ou sur l'existence de certaines atmosphères autrefois attribuées aux corps, ne peut obtenir l'assentiment des savants, lorsque cette force attractive et les atmosphères, soumises à l'action des agents si propres à les altérer, n'ont produit aucun changement dans les phénomènes. Ces faits sans doute n'établissent pas directement le système des ondulations, mais ils y conduisent en ruinant la seule explication qui pouvait lui être opposée. L'auteur, au reste, ne se dissimule pas les difficultés qui naissent aussi de ces expériences relativement à la théorie des ondulations, et il se demande comment les mouvements des ondes lumineuses, qui doivent être si régulières, ne sont pas troublés par des écoulements de fluides subtils qui les choquent dans leur marche. Il remet la solution de ces questions à l'époque où la science aura pénétré la nature intime de ces agents, qui ne nous sont connus que par leurs effets.

Sur la diffraction de la lumière dans le vide, par M. MAGNUS.

Depuis les merveilleux travaux de Fresnel, il n'est presque plus permis de douter que la propagation de la lumière ne soit due à un mouvement ondulatoire. Indépendamment de l'explication donnée par Fresnel de la double réfraction, et de la polarisation rectiligne, les phénomènes de la polarisation circulaire et de la réfraction conique sont des preuves si frappantes de la théorie des ondulations, qu'on doit regarder cette théorie comme un fait incontestable.

Il ne faut pas méconnaître toutefois que l'existence de l'éther n'a été proclamée nécessaire que parce qu'on ne pouvait rendre compte autrement de la propagation ondulatoire de la lumière; que l'hypothèse d'un semblable milieu, laquelle en elle-même n'offre aucune impossibilité, entraînerait relativement à l'inertie des conclusions qui ne s'accordent guère ou plutôt qui semblent en opposition directe avec les idées que l'on s'est faites jusqu'ici de la matière, et que, quoique l'on puisse admettre que tous les corps soient pénétrés par ce fluide éminemment subtil, il est difficile cependant de compren-

Digitized by Google

dre que cette pénétration soit de telle nature que les corps célestes n'éprouvent dans leur marche qu'une résistance nulle, ou si petite qu'elle à échappé jusqu'ici aux observations.

Ces difficultés inhérentes aux principes fondamentaux d'une théorie expliquent pourquoi les partisans de l'hypothèse de l'émission, fermant les yeux sur les avantages incomparables de la théorie des ondulations, sont arrivés très-lentement à l'admettre, et que l'existence de l'éther, aujourd'hui même encore, ne soit acceptée qu'avec répugnance.

Tout récemment M. Faraday a émis l'opinion que la propagation de la lumière ne se faisait pas par l'intermédiaire d'un milieu éthéré, mais bien suivant ce qu'il appelait des lignes de force, sous l'action attractive ou répulsive d'atomes-centres.

M. Airy, en combattant cette manière de voir, a fait remarquer que la diffraction ne pouvait avoir pour cause qu'un mouvement ondulatoire, parti d'un point centre de vibrations réelles. On pourrait peut-être, ajoutait-il, puisque la diffraction a lieu dans l'air, admettre que l'air est lui-même le milieu vibrant; et il s'efforçait immédiatement de combattre cette supposition par les considérations suivantes:

Quelque loin que l'on pousse sa raréfaction, l'air ne cesse pas de réfracter la lumière; et tout le monde sait qu'on ne peut expliquer cette réfraction que par un changement dans la vitesse de propagation des ondes, déterminé par l'action d'une force diamétralement opposée à ce changement de vitesse.

Ces changements, d'ailleurs, s'expliquent très-facilement et très-naturellement si l'on admet des ondes réelles: par conséquent, concluait M. Airy, on peut regarder comme prouvé que la propagation d'ondes réelles a lieu aux dernières limites de notre atmosphère. Alors même qu'au delà de ces limites on ne puisse plus faire aucune expérience, on est cependant porté à admettre que si l'air et l'éther qui l'accompagne (en les supposant essentiellement distincts) s'arrêtent en un certain point, dès que l'on aura supposé qu'un système de vibrations transversales propagé en rayonnant dans les espaces célestes sera parvenu à ce point, ce point à son tour deviendra un nouveau centre d'ondes, et qu'ainsi seront expliqués les phénomènes de la propagation de la lumière. Mais il se présente ici une circonstance remarquable: en ce point, la lumière devra subir une réfrac-

Digitized by Google

tion absolument comme si le rayon incident résultait d'un mouvement ondulatoire. En supposant donc qu'il soit prouvé suffisamment qu'il ne se produit aucune réfraction aux limites de notre atmosphère, il faudra admettre aussi que la propagation rayonnante au dehors de cette atmosphère se fait avec la même vitesse que la propagation par ondes réelles dans son intérieur ; une semblable égalité de vitesse pour deux genres de propagation si différents ne peut guères être acceptée, et semble même complétement impossible. M. Airy concluait donc que la propagation de la lumière dans les espaces célestes et dans l'air, où nous voyons se produire les phénomènes de la diffraction, devait s'expliquer par une seule et même théorie, et que cette théorie ne pouvait être que celle des ondes réelles.

Ce genre de preuves, qui repose sur ce fait que les phènomènes de la diffraction ne peuvent pas être le résultat des vibrations des petites particules d'air, conduit M. Magnus à publier une expérience qui présente d'autant plus d'intérêt, qu'elle offre l'occasion de faire ressortir d'autres difficultés inséparables de l'opinion suivant laquelle la propagation de la lumière aurait lieu sans l'intermédiaire d'un fluide éthéré.

Flauguergues déjà, journal de *physique* de Delaméthrie, 1812, tome 75, p. 16, avait fait quelques expériences sur la diffraction dans le vide. Il avait mastiqué au fond d'une bouteille de verre, formée de parois planes et parallèles, une plaque rectangulaire de laiton, et fixé au col de la bouteille un tube de 30 pouces environ, Puis, plaçant cet appareil au soleil, il observait à différentes distances l'ombre de la plaque. Il remplit ensuite la bouteille et le tube de mercure, retourna l'appareil en fermant l'orifice avec son doigt, et le porta dans une cuve à mercure. En observant de nouveau la plaque et son ombre, placées alors dans le vide de Toricelli, il constata que les phénomènes de diffraction étaient absolument les mêmes que lorsque la bouteille était remplie d'air.

En outre que, dans cette expérience, le vide n'est pas parfait, il semble qu'on ne peut rien en conclure, parce que les interférences avaient lieu non dans le vide, mais dans l'air placé derrière la bouteille. D'ailleurs, les mesures prises de l'ombre étaient nécessairement trop inexactes pour qu'on pût prononcer que la propagation de la

Digitized by Google

lumière dans l'intérieur de la bouteille se faisait par un mouvement ondulatoire.

Nous n'avons aucun moyen d'obtenir un vide parfait, car alors même que le vide de Toricelli serait complétement purgé d'air, il contiendrait encore des vapeurs de mercure. Quoiqu'à la température de 15 degrés, à laquelle se faisaient les expériences, ces vapeurs soient très-peu abondantes, elles existaient cependant, et l'on pouvait objecter que, suppléant l'air, elles propageaient le mouvement. On ne pourrait échapper tout à fait à cette objection qu'en opérant dans le vide absolu; mais comme cette condition est impossible à remplir, force a été à M. Magnus de se contenter du vide barométrique.

Pour être bien assuré que les franges de diffraction se produisent réellement dans le vide, il faut que le diaphragme qui leur donne naissance ne soit pas placé en dehors de ce vide: car il est manifeste que des bandes se formeraient dans la paroi antérieure ou dans l'air compris entre cette paroi et le diaphragme, et l'on pourrait prétendre que les bandes observées dans l'intérieur de l'espace vide sont les ombres des premières et non pas un effet produit dans le vide lui-même. Il fallait donc placer le diaphragme au sein du vide.

Cela ne suffisait pas encore : la série de raisonnements par lesquels Fresnel expliqua les bandes alternativement claires et sombres, produites par la diffraction, en regardant l'ensemble des points de l'onde parvenue à l'écran ou au diaphragme comme de nouveaux centres d'ondes, demeure également concluante, si à la place de cette première onde on considère comme lieu géométrique des nouveaux centres d'ondes une autre onde quelconque comprise entre le point lumineux et l'écran : aussi longtemps donc que le point éclairant resterait en dehors de l'espace vide, on pourrait objecter que la lumière ne se propage ondulatoirement que jusqu'aux limites de cet espace, et qu'ensuite elle le traverse, sans qu'on ait à admettre dans le vide la présence de l'éther. Alors même, en effet, que les choses se passeraient de cette manière, les bandes sombres et obscures pourraient encore se montrer dans le vide.

Il fallait donc établir aussi le point lumineux au sein du vide. On y parvenait en plaçant l'un derrière l'autre, à quatre lignes environ de distance, deux diaphragmes très-étroits : le premier formait une ligne brillante qui projectait sa lumière sur le second.

Digitized by Google

Pour pouvoir faire pénétrer les deux diaphragmes dans le vide, on les assujettissait à un petit bâton de fer ; et parce que les lignes sombres et obscures, qui devaient elles-mêmes se montrer dans le vide, devaient avoir une certaine largeur, il fallait donner à ce vide une certaine étendue, ce qui augmentait les difficultés de l'expérience. On ne pouvait pas songer à former le vase de verre et de fer, parce qu'on devait élever sa température et que le verre chaud, en contact dans le vide avec le fer, se brise facilement. Il est presque impossible d'ailleurs d'obtenir que les jointures du verre et d'un métal soient assez exactement fermées pour que l'air n'y pénètre pas. L'appareil était donc formé uniquement de verre.

Quand l'expérience fut ainsi faite avec toutes les précautions imaginables, les bandes se montrèrent toujours dans le vide. Que la lumière employée fût blanche ou colorée, leur intensité était toujours ce qu'elle aurait été dans l'air. Et, ce qui est plus concluant encore, quand on les observait avec une loupe appliquée contre les parois du verre, on les voyait distinctement au foyer de la loupe, foyer certainement placé en dedans de l'espace vide.

Il est donc bien prouvé que la propagation de la lumière dans l'air n'est pas due aux vibrations des molécules de l'air, car l'objection que les vapeurs de mercure ont pu remplacer les molécules d'air ne peut être ici regardée comme soutenable.

On aurait tort cependant de donner à cette expérience une portée plus grande que celle qu'elle a réellement : cette circonstance que les bandes se montraient au foyer de la loupe, alors même que ce foyer était situé dans le vide, ne prouve pas péremptoirement qu'il y avait là un fluide matériel dont les vibrations donnaient naissance aux bandes. Il arrivait nécessairement pour ces bandes ce qui arrive à toute image que l'on regarde au foyer d'une loupe. Considérons, en effet, comme c'est le cas pour les phénomènes de diffraction, deux points lumineux qui envoient leurs rayons à une loupe, et dont les distances soient telles que la différence de marche des rayons soit égale à une demi-ondulation : comme le chemin parcouru du foyer à l'œil est le même pour les deux rayons, puisqu'ils sortent parallèles et traversent une même épaisseur de la loupe, ils arriveront à l'œil avec cette même différence d'une demi-ondulation : ils interféreront

Digitized by Google

donc, et nous reporterons au foyer de la loupe le résultat de leur interférence ou la frange produite.

Ainsi l'apparition des bandes au dedans de l'espace vide s'accordera nécessairement avec toutes les hypothèses qui expliqueront la propagation de la lumière dans le vide, sans recourir à la présence de l'éther: avec celle, par exemple, qui admettrait qu'au mouvement des molécules du corps éclairant correspond un mouvement des molécules du corps éclairé, sans qu'il soit besoin pour cette coexistence d'un milieu intermédiaire. Sous un autre point de vue cependant, cette expérience est très-propre à mettre en évidence l'inadmissibilité d'une semblable hypothèse. Car, si l'on voulait s'en servir pour expliquer la propagation de la lumière, il faudrait admettre en même temps que cette communication de mouvement exige un certain temps, et que ce temps varie avec la distance du corps éclairé au corps éclairant : or, cette dernière supposition exclurait toute analogie entre l'action dont nous venons de parler et l'attraction universelle, laquelle, comme Laplace l'a prouvé (Mécanique céleste, Livre X, ch. VII), n'exige aucun temps pour sa propagation.

Il n'en est pas moins vrai que cette supposition une fois faite, on en déduirait les lois de la réflexion et de la réfraction; on expliquerait aussi les phénomènes de la polarisation et des interférences, dans le cas même où ils se produiraient dans le vide absolu : mais il en serait tout autrement de l'épanouissement de lumière qui accompagne la diffraction, si, comme c'était le cas dans l'expérience que nous venons de décrire, le point éclairant et l'écran se trouvent à la fois dans le vide. Fresnel explique cet épanouissement de lumière à l'aide du principe d'Huyghens, suivant lequel chaque point de l'onde qui atteint l'écran devient lui-même un nouveau centre de vibration. Cette explication évidemment devient impossible quand on n'admet plus la présence de l'éther ; et pour expliquer alors la présence des bandes, on serait forcé de supposer que l'action exercée par la molécule du corps éclairant sur le corps éclairé ne s'exerce pas seulement en ligne droite, suivant le chemin le plus court, mais dans toutes les directions, de telle sorte que si l'action de plus courte distance est empêchée par l'interposition d'un corps opaque, elle s'exerce encore tout autour du corps, bien entendu avec une inten-

Digitized by Google

sité d'action d'autant moindre que la direction est plus oblique, et après un temps d'autant plus long que la distance à laquelle elle s'exerce est plus longue.

Il serait donc possible, absolument parlant, à l'aide d'une semblable hypothèse, d'arriver à se passer de l'éther dans l'explication de la propagation de la lumière, puisqu'on retrouverait ainsi, quant à la substance, les phénomènes que la présence de l'éther rend sensibles; mais on voit en même temps que ces hypothèses entraînent avec elles des difficultés plus grandes et qu'il est plus simple par conséquent d'admettre la présence de l'éther.

Sur l'inflexion de la lumière, par lord BROUGHAM.

Les expériences du noble lord ont été faites à Cannes, en Provence, avec un appareil exécuté par M. Soleil, constructeur aussi de l'héliostat, qui maintenait le rayon solaire au même point pendant une grande partie du jour. Voici le résultat principal obtenu par lord Brougham : si un faisceau de lumière divergente a subi une première fois l'inflexion d'un premier bord métallique ou non métallique, de forme ou de substance quelconque, il présente des propriétés différentes, suivant qu'un second bord arrive en contact avec lui par ses divers côtés. Supposons, par exemple, que le faisceau soit horizontal, qu'il ait été diffracté par un premier tranchant placé en dessus, et qu'on lui fasse affleurer un second bord, il se diffractera de nouveau ou ne se diffractera pas, suivant la position donnée au second tranchant, suivant qu'il sera au-dessus ou au-dessous du faisceau une première fois diffracté.

Ces expériences faites avec patience et habileté ramènent l'ex-chancelier d'Angleterre aux premières années de sa vie scientifique. Nous le félicitons du bel exemple qu'il vient de donner, de cet admirable emploi de ses vacances parlementaires.

Nous empruntons les détails qui suivent à une communication récente faite à l'Académie des Sciences.

Recherches expérimentales et analytiques sur la lumière, par lord BROUGHAM.

Proposition I. — La flexion d'un rayon (faisceau ou pinceau),

Digitized by Google

soit de lumière composée, soit de lumière homogène, est proportionnelle à la largeur des franges colorées formées par les rayons après avoir passé près du corps fléchissant. Ces franges ne sont pas trois, mais beaucoup plus nombreuses ; et elles diminuent avec leurs distances de l'ombre du corps fléchissant ; ce sont de véritables images du corps lumineux dont les rayons les forment. Leur éloignement des rayons directs est aussi une mesure de la flexion qui les forme.

» Dans le spectre prismatique, les franges, par conséquent, sont non-seulement les plus larges dans les rouges, les plus minces dans les violets, mais les franges rouges sont les plus éloignées de l'axe du spectre, les franges violettes les plus rapprochées de cet axe.

» *Proposition II.* — Les corps agissent sur la lumière en la fléchissant perpendiculairement aux rayons. L'action est en même temps en ligne perpendiculaire à la très-petite portion de la surface fléchissante, qui seule fléchit la lumière.

» *Proposition III.* — Les rayons fléchis par un corps près duquel ils passent sont mis ou jetés dans un état ou condition telle que leur côté près du premier corps devient *polarisé* ou difficilement fléchi par un deuxième corps, tandis que leur côté opposé est *disposé*, ou devient beaucoup plus facilement fléchi par le second corps, et le rayon est beaucoup plus fléchi par ce corps que s'il n'avait été fléchi et disposé par le premier corps.

» Cette proposition est prouvée par des expériences nouvelles et aussi par des phénomènes déjà connus et qui sans cette proposition ne sont pas explicables.

» *Proposition IV.* — Après qu'une première flexion a disposé un côté du rayon et polarisé l'autre, une seconde flexion *dépolarise* ce côté-ci, et le dispose à être plus fléchi, de sorte qu'un troisième corps placé du même côté avec le premier corps, et du côté du rayon opposé au second, fléchit les rayons que la première flexion avait polarisés, tandis que le côté que la première flexion avait disposé devient par la seconde flexion polarisé à son tour.

» *Proposition V.* — La disposition communiquée aux rayons par la flexion est alternative, de sorte que, s'ils ont été infléchis, la disposition que leur donne cette flexion est d'être facilement défléchis ; s'ils ont été défléchis, la disposition donnée est d'être facilement in-

Digitized by Google

fléchis. Et après une inflexion ils doivent être défléchis, avant de pouvoir être infléchis une seconde fois ; après une déflexion ils doivent être infléchis, avant de pouvoir être défléchis une seconde fois.

» *Proposition VI.* — La disposition communiquée par un corps fléchissant aux rayons, soit d'être infléchis, soit d'être défléchis, est plus forte à une distance plus petite du second au premier corps, et elle décroît avec cette distance.

» On prouve par l'analyse, comparée avec les expériences, qu'il n'y a pas moyen d'expliquer les phénomènes, ni par la dispersion, ni par l'interférence, ni par aucune supposition, excepté celle de la disposition donnée par une flexion préalable.

» *Proposition VII.* — Les rayons de flexibilité différente diffèrent aussi dans la disposition qui leur est communiquée, par une première flexion, d'être fléchis par un autre corps, les plus flexibles étant aussi les plus disponibles.

» La polarisation est qualité négative, ainsi il n'en peut pas être des degrés.

» *Proposition VIII.* — La disposition et la polarisation se font sur les deux côtés opposés des rayons, c'est-à-dire les côtés qui sont parallèles aux surfaces fléchissantes, et les deux autres côtés ne sont pas affectés ni par disposition, ni par polarisation, par le corps fléchissant.

» Le côté droit polarisé, le côté gauche est disposé ; le côté supérieur et le côté inférieur des rayons ne sont aucunement affectés.

» *Proposition IX.* — Les phénomènes de flexion et de disposition ont un accord complet avec les résultats de l'analyse instituée sur les forces flectives, tant d'inflexion que de déflexion.

» 1° L'analyse fait voir que les franges formées par une inflexion suivie d'une déflexion doivent aller en décroissant à proportion qu'elles s'éloignent des rayons directs, et que leur éloignement l'une de l'autre doit aussi diminuer, tandis que les franges formées par l'inflexion après la déflexion doivent aller en croissant.

» Les expériences donnent le même résultat.

» 2° L'analyse fait voir que les franges défléchies après l'inflexion doivent être moins larges et moins éloignées que celles que l'inflexion forme après la déflexion.

Digitized by Google

» Les expériences donnent le même résultat.

» 3° L'analyse et l'expérience s'accordent aussi à prouver que ces deux diversités des deux espèces de franges deviennent plus petites en raison de la proximité des deux corps fléchissants l'un après ou derrière l'autre, et que les deux suites de franges deviennent égales, lorsque les deux corps, au lieu d'être placés l'un après l'autre, sont placés vis-à-vis l'un de l'autre.

» 4° Les expériences font voir que, lorsque les deux corps sont placés vis-à-vis l'un de l'autre, les franges vont en croissant, mais lentement, et pourtant avec quelque peu d'accélération en s'éloignant du centre de la ligne qui joint les deux corps.

» L'analyse le confirme.

» Il n'y a pas de possibilité à expliquer ces expériences et ces calculs par l'interférence.

» 1° Les largeurs et les distances dans mes franges donnent la proportion des triangles similaires. Chez Newton, les franges de cheveux (interférence) donnent une tout autre proportion.

» 2° Les franges d'interférence (internes de l'ombre) disparaissent si l'on intercepte la lumière du côté opposé : les franges externes, point du tout ; elles ne sont pas affectées.

» 3° Les largeurs des franges suivent une règle tout à fait différente de celle d'interférence. Elles sont les plus grandes là où par interférence elles devraient être les plus minces.

» 4° Les bords agissent successivement, dans mes expériences, sur les mêmes rayons, tous les deux bords ou tous les trois ; ainsi il n'y a pas d'interférence du tout. »

Observation faite par M. ARAGO *après la lecture du Mémoire de* lord BROUGHAM.

« Mylord,

» J'ai écouté avec beaucoup d'attention la communication que vous venez de faire à l'Académie. Il me semble, contrairement à votre opinion, que les résultats que vous avez signalés peuvent être rattachés à la doctrine des interférences ; mais j'attendrai, pour me livrer, à cet égard, à un examen circonstancié, que votre Mémoire ait été imprimé et qu'on puisse apprécier dans tous leurs détails vos intéressantes expériences. »

Digitized by Google

Nous avons vu les expériences de lord Brougham, et nous affirmons sans crainte qu'elles sont une conséquence facile et nécessaire des lois de la diffraction et des interférences établies par Young et Fresnel. En sortant de cette séance intéressante nous avons vivement regretté que lord Brougham n'eût pas chargé M. Soleil de répéter ces curieuses modifications des phénomènes observés par Newton sur son banc d'interférences et de diffraction : elles eussent été incomparablement plus saillantes, et le savant lord lui-même aurait été profondément étonné. Nous lui ménageons cette agréable surprise à son prochain voyage.

POLARISATION ROTATOIRE, ou mieux, DISPERSION DES PLANS DE POLARISATION.

Note et Mémoire sur la polarisation du quartz, par M. JAMIN.

On sait que M. Airy, pour expliquer les phénomènes présentés par le quartz dans des directions obliques à l'axe, a supposé que le rayon polarisé incident se décomposait en deux faisceaux elliptiquement polarisés, de rotation inverse, et marchant dans le cristal avec des vitesses différentes : les ellipses d'oscillation de ces rayons deviennent des cercles dans le cas particulier où le cristal est traversé dans le sens de son axe, et des lignes droites si la lumière le traverse perpendiculairement. Au moyen de cette hypothèse générale, et sans rien statuer ni sur la différence de vitesse, ni sur le rapport des axes des ellipses de ces deux rayons, M. Airy a expliqué généralement les apparences présentées par le quartz, soumis à la lumière polarisée, dans un grand nombre de circonstances; mais pour pouvoir soumettre ces phénomènes au calcul, il était nécessaire de déterminer par des expériences positives :

1° Les vitesses inégales des rayons dans le cristal ;

2° Le rapport des axes des ellipses d'oscillation sous des inclinaisons déterminées ; c'est ce but que s'est proposé M. Jamin.

Il polarise à cet effet la lumière incidente dans le plan de la section principale du cristal : le rayon émergent se trouve généralement formé par deux composantes ; l'une, dirigée dans la section principale ; l'autre, dans la section perpendiculaire : il mesure le rapport des amplitudes et la différence des phases de ces composantes,

Digitized by Google

et il déduit par des formules simples les deux quantités qu'il fallait déterminer.

Le rapport des axes des ellipses oscillatoires diminue, comme on devait s'y attendre, de 1 à 0°. Quand l'incidence du rayon, comptée à partir de l'axe du cristal, augmente, la dernière limite est très rapidement atteinte. Voici quelques-uns des nombres trouvés :

Incidences	2°;	5° 17′;	9° 15′;	15° 28′;	19° 42′;	24° 30′;
Rapport des axes	0,939;	0,641;	0,309;	0,125;	0,087;	0,052.

Quant à la différence de marche de ces deux rayons elliptiques, elle est proportionnelle à l'épaisseur de la lame de quartz traversée ; elle est représentée par la loi d'Huyghens, quand le rayon incident s'écarte de l'axe d'un angle égal ou supérieur à 30°, mais elle suit une marche différente entre les incidences 0 et 30°.

Les résultats suivants expriment, en fonction de la longueur d'ondulation, la différence de marche des deux rayons elliptiques dans une lame de quartz perpendiculaire à l'axe de 1 millimètre d'épaisseur.

Incidences.	0°;	5° 26′;	11° 0′;	15° 33′;	20° 27′;	25° 17′;	30° 26′;	35° 3′.
Différence de marche.	0,120;	0,135;	0,273;	0,490;	0,719;	1,231;	1,774;	2,287.

Il était important de lier par une loi théorique ces résultats de l'expérience. M. Jamin espérait que M. Cauchy voudrait bien soumettre ce problème au calcul, et faire connaître les véritables lois de ces phénomènes compliqués : ses espérances se sont réalisées.

Dans un mémoire présenté récemment à l'Académie, M. Jamin a développé la note lue par lui à la Société philomatique, et nous empruntons avec bonheur à ce beau mémoire quelques développements pleins d'intérêts.

Quand, au lieu de tailler une plaque de cristal de roche perpendiculairement à l'axe, on en détache une lame parallèle à l'axe, on reconnaît tous les phénomènes communs aux cristaux à un axe, sans rien remarquer de particulier ; l'action rotatoire anormale du quartz a disparu, mais elle reparaît quand on incline l'axe sur le rayon, et complique l'effet ordinaire de la double réfraction.

Pour expliquer cette particularité, M. Airy admet que les deux

Digitized by Google

rayons polarisés circulairement de Fresnel se transforment quand l'axe est incliné sur le rayon transmis en deux rayons polarisés elliptiquement, et dont les vibrations s'exécutent toujours en sens inverse. Les axes de chacune des ellipses, égaux suivant l'axe du cristal, deviennent de plus inégaux quand on incline l'axe du cristal sur le rayon, et se réduisent à un seul, pour le cas où la transmission se fait perpendiculairement à l'axe. Alors les deux rayons sont rectilignement polarisés et constituent les rayons ordinaire et extraordinaire.

Sans rien préciser ni sur la loi des variations des axes des ellipses, ni sur celles des vitesses des deux rayons réfractés, en admettant seulement que ces deux éléments du problème varient d'une manière continue entre les valeurs qu'elles atteignent aux limites extrêmes, M. Airy a déduit du calcul les phénomènes généraux présentés par le quartz ; il les a ensuite discutés avec un soin extrême, de manière à prouver que la théorie reproduisait les expériences dans leurs apparences générales : c'était assez pour justifier l'hypothèse admise par lui comme point de départ.

Il restait à compléter cet excellent travail, en déterminant le rapport des axes dans chacune des ellipses correspondantes aux deux rayons réfractés, et la différence de vitesse de propagation, et tel a été l'objet du mémoire de M. Jamin.

En désignant par k, k' les rapports des axes des deux ellipses, par δ la différence de marche des deux rayons, après qu'ils ont traversé le cristal, par A, B les amplitudes ou par A^2, B^2 les intensités des rayons émergents produits par la superposition des deux rayons elliptiques, par $\varphi' - \varphi$ leur différence de marche, M. Jamin établit les deux formules :

$$\operatorname{tang}(\varphi' - \varphi) = \operatorname{tang}\frac{\delta}{2}\,\frac{k' - k}{k + k'} = n$$

$$\frac{B^2}{A^2} = \frac{(k + k')^2 - 4kk'\sin^2\frac{\delta}{2}}{4\sin^2\frac{\delta}{2}} = m^2.$$

Il fait remarquer ensuite que m et n peuvent se déterminer expérimentalement au moyen du compensateur formé de deux lames

Digitized by Google

de quartz, légèrement prismatiques, taillées parallèlement à l'axe et superposées de manière à croiser leurs axes à angle droit et à opposer la partie la plus épaisse de l'une à la partie mince de l'autre. Tout faisceau qui traversera ce système donnera dans le premier deux rayons, ordinaire et extraordinaire, qui deviendront extraordinaire et ordinaire dans le second; et par conséquent leur différence de marche dépendra de la différence des épaisseurs traversées.

Si l'on place ce quartz dans le trajet d'un faisceau polarisé à 45 degrés de leurs axes, et éteint par un prisme de Nicol, on verra une frange noire sur les points d'égale épaisseur, et à droite et à gauche des bandes alternativement brillantes et obscures, larges de deux millimètres environ.

L'une des lames de quartz est mise en mouvement parallèlement à elle-même par une vis micrométrique appréciant un centième de millimètre. Quand on la fait marcher, on déplace les épaisseurs superposées et on amène successivement leur milieu en contact avec deux fils parallèles très-fins qui servent de point de repère au milieu du champ de vision : si c'est la frange centrale, les deux rayons qui ont traversé le quartz n'ont pas de différence de marche ; si c'est la suivante, ils en ont une égale à une longueur d'onde, et si on a fait marcher la vis micrométrique d'une fraction quelconque de l'intervalle qui sépare deux franges, on a entre les fils de repère une différence de marche égale à la même fraction de longueur d'onde.

Revenant à l'expérience du quartz, interposons dans le trajet du faisceau qui a traversé la lame le compensateur que nous venons de décrire : les composantes du rayon se réfracteront sans se diviser, et leur différence de marche, $\varphi'-\varphi$, se retranchant de celle occasionnée par le compensateur, déterminera un déplacement des franges qui sera mesuré par le micromètre ; $\varphi'-\varphi$ sera, au signe près, égal à la différence de phase du compensateur, et s'exprimera par une fraction de longueur d'onde égale à la fraction de largeur de frange qui marquera le déplacement.

En second lieu, ces mêmes composantes n'éprouvant pas de décomposition dans le compensateur, et leur différence de phase y étant compensée dans l'étendue de la frange obscure, elles reproduiront un rayon polarisé rectilignement, et l'azimut de la vibration

Digitized by Google

résultante, qui a pour tangente $\frac{B}{A}$ ou m, se mesurera par la condition que la frange prenne son maximum d'obscurité.

L'expérience fournit ainsi les valeurs de m et de n, que l'on substituera dans les équations précédentes, où se trouvent trois inconnues, δ, k et k'. Le problème resterait ainsi indéterminé si on ne pouvait trouver une équation de condition, mais cela est heureusement possible.

Une discussion facile appuyée d'une expérience très-simple conduit en effet M. Jamin à la relation $kk'=1$.

Ainsi, les ellipses d'oscillation dans les deux rayons réfractés sont semblables, mais placées à 90 degrés l'une de l'autre, de sorte que le petit axe de l'une est parallèle au grand axe de l'autre, résultat qu'on est tenté d'admettre *à priori* quand on considère qu'aux deux limites extrêmes les ellipses dégénèrent en même temps en cercles ou en lignes droites, et qu'il ne faut cependant considérer que comme approximatif, puisque les deux faisceaux ne suivent pas la même direction dans le cristal.

Cette relation entre les coefficients k et k' permet de ramener les équations du problème à la forme très-simple :

$$\text{tang}\,\frac{\delta}{2} = n^2 + \frac{1+n^2}{m^2}$$

$$\frac{1}{k} - k = \pm \frac{2mn}{\sqrt{1+n^2}}.$$

Au moyen de ces deux formules on calculera la différence de vitesse δ et le rapport k des axes. En posant

$$\frac{mn}{\sqrt{1+n^2}} = m \sin(\varphi' - \varphi) = \text{tang}\, a,$$

la seconde de ces équations devient

$$k = \pm (\text{tang}\, a \pm \sqrt{1 + \text{tang}^2\, a}),$$

d'où l'on tire $k = \pm \text{tang}\,\frac{90^\circ - a}{2}$ ou $k = \pm \cot\,\frac{90^\circ - a}{2}$. Le double signe correspond aux deux variétés de quartz à rotation

Digitized by Google

droite ou gauche ; la tangente et la cotangente de $\frac{90^\circ - a}{2}$ expriment k et $\frac{1}{k}$.

On rencontra dans l'exécution une difficulté qui tient à la dispersion produite par le quartz, dispersion sensible déjà quand il est peu épais, et tellement grande quand la lame dépasse quelques millimètres que toute mesure devient impossible ; un verre rouge interposé dans le trajet de la lumière ne diminue cette impossibilité que pour les petites incidences et la laisse subsister en entier quand l'inclinaison dépasse quelques degrés. La lumière solaire décomposée par le prisme est toujours mêlée de blanc et ne réussit pas mieux ; mais une lampe à alcohol salé, à double courant d'air, et à mèches superposées, fournit une lumière qui ne laisse rien à désirer.

La méthode expérimentale que nous venons de faire connaître a donné des résultats fort précis, mais elle peut être amenée à un plus grand degré de simplicité.

Tous les physiciens savent qu'en plaçant entre deux tourmalines croisées une lame de quartz perpendiculaire à l'axe on aperçoit des anneaux concentriques alternativement brillants et obscurs, et que la croix noire qui accompagne ordinairement ces apparences dans les cristaux à un axe ne se manifeste qu'à une certaine distance du centre, c'est-à-dire quand la lumière est très-oblique à l'axe. Si au lieu d'éclairer le cristal par une lumière convergente on le place dans le trajet d'un faisceau parallèle toujours polarisé dans le plan d'incidence et éteint par un prisme de Nicol, on verra apparaître ces mêmes anneaux en inclinant le quartz, et ils produiront dans le champ très-restreint de la vision des minima et des maxima alternatifs pour des incidences que l'on pourra mesurer et qui serviront à trouver δ. L'on a en effet

$$A^2 = 4 \sin^2 \frac{\delta}{2},$$

et puisque la lumière est polarisée dans le plan d'incidence, les anneaux obscurs ou brillants apparaîtront quand A prendra des valeurs minima ou maxima, et cela aura lieu toutes les fois que $\sin \frac{\delta}{2}$ deviendra

Digitized by Google

inégal à 0 ou à 1 ; les anneaux correspondront aussi aux valeurs de $\frac{\delta}{2}$.

$$0, \quad \frac{2\pi}{2}, \quad \frac{4\pi}{2}, \quad \frac{6\pi}{2}, \quad \frac{8\pi}{2}\ldots, \text{ obscurs,}$$

$$\frac{\pi}{2}, \quad \frac{3\pi}{2}, \quad \frac{5\pi}{2}\ldots, \text{ brillants.}$$

On pourra donc sans le secours du compensateur déterminer les incidences pour lesquelles δ prendra des valeurs connues. En opérant sur des lames de diverses épaisseurs, on pourra multiplier les résultats, et comme les différences de marche sont proportionnelles aux épaisseurs traversées, on en déduira celles que donnerait une plaque de 1 millimètre d'épaisseur: ce sera diviser les erreurs commises par les épaisseurs des plaques.

Dans le cas des incidences correspondantes aux anneaux obscurs et brillants, les formules qui donnent δ et k deviennent

$$\operatorname{tang}\frac{\delta}{2} = \infty, \; n = \infty, \; \frac{1}{k} - k = 2m.$$

On placera le compensateur de manière à donner aux rayons qui le traversent une différence de marche égale à 90°, et comme la différence de marche $\varphi' - \varphi$ des rayons sortis du quartz est égale à un multiple impair de $\frac{\pi}{2}$, la polarisation sera rétablie, et l'azimut de la vibration résultante sera mesuré ; k sera alors fourni par la seule détermination de m.

Après avoir fait des expériences par la méthode générale que nous venons de développer, et par la méthode simplifiée qu'il en avait déduite, M. Jamin devait se préoccuper de la loi des variations de k et δ. Il a alors prié M. Cauchy d'appliquer au cristal de roche sa théorie générale de la double réfraction. L'illustre géomètre a bien voulu s'occuper du problème, et il est arrivé à des formules quelque peu compliquées dans le cas général, mais qui se réduisent à des équations très-simples quand les angles de réfraction sont très-petits, ce que l'on peut toujours admettre dans une première approximation, d'autant plus que les phénomènes particuliers au quartz cessent d'être sensibles à une petite distance de l'axe.

Digitized by Google

En appelant d le retard d'ondulation éprouvé par l'un des rayons elliptiques sur l'autre, au sortir d'une lame de e millimètres d'épaisseur, d_0 la valeur de ce retard sous l'incidence normale, l la longueur d'onde, n, n' les indices ordinaire et extraordinaire, et posant

$$\frac{d^2 - d_0{}^2 \cos^4 r}{\sin^4 r} = p^2 = \left\{ \frac{n}{n'} \quad \frac{e}{l} (n' - n) \right\}^2$$

$$h = \frac{p}{d_0} \operatorname{tang}^2 r.$$

M. Cauchy trouve que la valeur de k est donnée par l'équation

$$k = \pm h \pm \sqrt{1 + h^2}.$$

M. Jamin, comme nous l'avons vu, avait trouvé de son côté

$$k = \pm \left(\frac{mn}{\sqrt{1 + n^2}} \pm \sqrt{1 + \frac{m^2 n^2}{1 + n^2}} \right).$$

Dans la formule de M. Cauchy, h a une signification théorique, tandis que, dans celle de M. Jamin, m et n étaient des nombres déterminés par l'expérience. M. Jamin ajoute : « Mes expériences sont terminées depuis plus d'une année, et en priant M. Cauchy d'en faire la théorie je ne lui ai pas fait connaître les résultats auxquels j'étais arrivé. C'est donc sans aucune donnée expérimentale, sans aucun autre guide que lui-même, que M. Cauchy a trouvé la solution du problème ; et quand elle m'a été connue, il m'a suffi de quelques heures de calcul pour reconnaître qu'elle reproduisait les faits avec une exactitude merveilleuse, sans qu'il ait été nécessaire ou de modifier les formules pour les rendre exactes, ou de recommencer les expériences avec la préoccupation de les faire coïncider avec la théorie. »

Nous l'avons dit il y a longtemps, M. Cauchy est en pleine possession d'une théorie complète de la lumière ; puisse-t-il la publier bientôt! C'est quelque chose d'étonnant que cet accord, cette identité absolue entre les résultats des expériences de M. Jamin et les conclusions théoriques de M. Cauchy. Comme il avait calculé autrefois les quantités de lumière réfléchie à la surface des métaux sans aucune expérience de photométrie, il calcule les rapports des axes des ellipses décrites par les molécules éthérées au sein du quartz et

Digitized by Google

les différences de vitesse sans une seule expérience de ce genre, et il assigne à l'avance une signification précise à des constantes que l'expérience laissait complétement inconnues dans leur nature intime : c'est un fait inouï dans les annales de la science.

Ajoutons encore un mot : les efforts réunis de M. Cauchy et de M. Jamin viennent de constituer une nouvelle preuve écrasante, irréfragable, irrécusable de la vérité de la théorie des ondulations, une nouvelle réfutation inévitable, absolue de l'hypothèse de l'émission. En effet, la théorie des ondulations affirme que dans telles circonstances les molécules lumineuses se partagent en deux groupes décrivant des ellipses distinctes ; elle assigne les rapports des axes de ces ellipses, calcule à l'avance la différence de vitesse des deux rayons, et quand on fait appel à l'expérience, l'expérience donne ces mêmes ellipses, ces mêmes rapports de leurs axes, cette même différence de vitesse, etc. Les ellipses sont donc certainement existantes et non pas imaginaires, les molécules lumineuses oscillent donc réellement en décrivant ces ellipses, etc., etc. MM. Biot et Brewster rendront-ils cette fois les armes noblement et loyalement? nous le désirons ardemment ; ce serait un bel exemple, et l'apothéose glorieuse au terme de deux des plus illustres vies scientifiques des temps modernes. Mais...!

Sur la structure et la propriété rotatoire du quartz cristallisé, par M. Soleil.

« Les physiciens s'accordent aujourd'hui à reconnaître, d'après les recherches de MM. Biot, Herschel, et Brewster, que la propriété rotatoire du quartz cristallisé dépend moins de la nature des molécules que de la disposition qu'elles affectent dans une même couche perpendiculaire à l'axe ; les principales raisons à faire valoir en faveur de cette opinion sont : 1° l'absence de toute rotation dans le quartz non cristallisé, comme l'opale, la calcédoine et le tabasheer, ou fondu, ainsi que l'a obtenu M. Gaudin, ou enfin désagrégé et en dissolution dans la potasse ; 2° la relation qui existe entre l'épaisseur des plaques du cristal en expérience et l'intensité de la rotation ; 3° l'existence de deux variétés de quartz produisant la rotation, l'une vers la droite, et l'autre vers la gauche, sans qu'aucun caractère extérieur puisse toujours faire d'ailleurs reconnaître, à

Digitized by Google

priori, cette différence ; 4° enfin l'identité des valeurs numériques des déviations produites par ces deux variétés de quartz.

» D'un autre côté, la structure complexe de l'améthyste, qui résulte de l'enchevêtrement de cristaux à rotations contraires, se retrouve, bien qu'à un moindre degré de complication, dans un grand nombre d'échantillons de quartz hyalin, de telle sorte qu'il est possible d'en extraire des plaques offrant ici une rotation dans un sens, là une rotation contraire, ailleurs une absence complète de rotation.

» A ces faits déjà connus nous en joindrons quelques autres que nous avons eu occasion d'observer, et sur lesquels nous croyons que l'attention des physiciens n'a pas encore été fixée.

» Avant de les faire connaître, nous rappellerons quelques-uns des phénomènes de polarisation que l'on produit en superposant deux lames de rotation contraire.

» L'appareil dont on se sert consiste en un miroir de verre noir, convenablement incliné par rapport au faisceau lumineux qui le frappe, et en un prisme de Nicol, que l'on tourne jusqu'à ce qu'il ne laisse plus passer aucun des rayons réfléchis par le miroir, c'est-à-dire jusqu'à ce que la *tache noire* que l'on voit à travers ce prisme ait acquis son maximum d'intensité.

» Les choses étant ainsi disposées :

» 1° Si l'on place l'une à côté de l'autre, entre le miroir et le prisme, deux plaques de quartz de rotation inverse et d'égale épaisseur, elles donneront la même teinte, et, en faisant tourner le prisme autour de son axe, la teinte changera pour chaque plaque ; elle montera dans l'ordre des anneaux colorés pour l'une des plaques, et descendra pour l'autre ;

» 2° Si l'on superpose les deux plaques, elles se neutraliseront réciproquement, le plan primitif de polarisation sera rétabli, et la tache noire se verra comme avant l'interposition des plaques ;

» 3° Les plaques ainsi superposées, observées au microscope polarisant de M. Amici, donneront les spirales d'Airy ;

» 4° Si les plaques ne sont pas d'égale épaisseur, elles ne donneront pas la même teinte quand on les regardera l'une à côté de l'autre dans l'appareil ordinaire de polarisation ;

» 5° Par la superposition de ces plaques inégalement épaisses, on ne rétablira pas le plan primitif de polarisation, et, au lieu de la tache

Digitized by Google

noire, on verra une teinte semblable à celle que produirait une plaque égale en épaisseur à la différence des deux plaques en expérience ;

» 6° Ces plaques, superposées et observées au microscope polarisant de M. Amici, donneront des spirales d'Airy imparfaitement terminées.

» Or, toutes ces dispositions se présentent quelquefois dans des lames provenant d'un seul et même *canon* de quartz.

» 1° L'une des deux lames que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie offre les particularités suivantes : placée dans l'appareil précédemment indiqué, elle donne une teinte d'un rose jaunâtre ; cette teinte est uniforme sur toute la plaque ; mais, dans la partie moyenne, elle est partagée en deux *plages*, par une ligne noire bordée de chaque côté d'une ligne blanche, et, plus en dehors, d'une bande jaune, au delà de laquelle commence la teinte plate. Quand on fait tourner le prisme de Nicol, les couleurs différentes apparaissent à droite et à gauche de la ligne noire ; ces couleurs suivent des ordres inverses et indiquent que l'une des plages possède la rotation à droite, tandis qu'elle est à gauche dans l'autre plage ;

» 2° La ligne noire résulte évidemment de la superposition de deux couches d'égale épaisseur et de rotation opposée, et de leur neutralisation complète et réciproque. En effet, vue dans le microscope polarisant de M. Amici, cette ligne noire donne des spirales d'Airy d'une grande netteté. On peut aisément comprendre cette neutralisation, en admettant que les deux *canons* de quartz, doués de rotation inverse, se sont pénétrés l'un l'autre, et se trouvent soudés par les faces de leurs pyramides correspondantes, disposition qui explique le parallélisme de leurs axes ; de cette manière, quelle que soit l'épaisseur de la plaque enlevée dans le *canon composé*, il y aura toujours, à l'endroit de la soudure, une certaine ligne qui séparera en deux couches d'égale épaisseur les lames de rotation contraire.

» Ce qui donne un grand degré de probabilité à cette manière de voir, c'est qu'on parvient à obtenir les mêmes effets en taillant en biseau deux lames de quartz d'égale épaisseur et de rotation inverse, et les superposant au niveau des biseaux.

» J'ai l'honneur de présenter à l'Académie une couple de ce genre, dont les effets ne diffèrent en rien de ceux de la plaque naturelle.

Digitized by Google

» Notons que chacun de ces biseaux fait avec l'axe du cristal un angle égal à celui que fait ce même axe avec l'une des faces naturelles de la pyramide.

» 3° La plaque carrée possède la rotation à gauche : elle offre une teinte verte, correspondant à son épaisseur; mais, en outre, elle présente une plage hexagonale allongée, d'une teinte jaune. Ce périmètre est nuancé des couleurs du spectre, le rouge étant intérieur et le violet extérieur.

» Cette plage hexagonale offre au microscope polarisant des spirales imparfaitement terminées. Il n'est pas douteux que cette plage ne résulte de la pénétration d'une aiguille de quartz de rotation inverse de celle du reste de la plaque ; mais ici les lames superposées n'ont plus la même épaisseur. Ces suppositions deviennent incontestables quand on observe l'effet produit par la superposition d'une plaque d'épaisseur convenable et douée de la rotation vers la droite. La plage, de jaune qu'elle était, devient noire, et elle donne des spirales parfaites. Cela tient évidemment à ce que la plaque supplémentaire qui, examinée isolément, donne une teinte jaune, forme, par sa jonction avec la couche de même rotation de la lame composée, un ensemble égal en épaisseur à la couche de rotation inverse de cette même lame.

» Bien plus, cette plaque supplémentaire doit avoir exactement l'épaisseur de l'excès des couches qui tournent vers la gauche, sur celle qui devient le plan de polarisation vers la droite dans la plage que nous examinons.

» 4° La *ligne noire* que nous avons signalée dans notre première plaque, et qui se montre toujours à la séparation des plages de rotation inverse dans une même plaque de quartz, ne doit pas être confondue avec la *teinte noire jaspée* disséminée dans les diverses parties des plaques de différentes provenances. La première est toujours nette et forme une ligne droite ou brisée ; dans ce dernier cas, elle est hexagonale ou dérive de l'hexagone régulier : nous avons indiqué plus haut les conditions de sa formation.

» La *teinte noire jaspée* est loin d'offrir la même netteté ; elle n'a rien de régulier dans sa forme et se distingue essentiellement de la première, en ce qu'elle donne au microscope polarisant des anneaux colorés coupés par une croix noire, dont la disposition est tout à fait semblable à celle des lames de spath d'Islande, perpendiculaire à l'axe.

Digitized by Google

» Je ne terminerai pas cette note sans faire observer que les arrangements moléculaires propres à donner lieu aux phénomènes dont il vient d'être question, loin d'être rares, se rencontrent avec une telle fréquence, que ce n'est que par exception que l'on trouve des échantillons de quartz donnant les lames à teintes parfaitement uniformes dans toute leur étendue.

Note sur un moyen de faciliter les expériences de polarisation rotatoire, par M. SOLEIL.

« Les expériences de polarisation rotatoire offrent certaines difficultés, inhérentes aux moyens d'observation, et auxquelles on ne parvient pas toujours à se soustraire, soit parce que l'on ne possède pas cette dextérité et cette habitude qui ne s'acquièrent que par un long excercice, soit à raison de l'impossibilité où l'on se trouve de réaliser toutes les précautions voulues pour donner aux résultats l'exactitude que comporte aujourd'hui ce genre de recherches.

» On sait que la position du plan de polarisation se détermine en observant celle du prisme analyseur à laquelle répond le minimum d'intensité de l'image extraordinaire. Mais, comme il n'est rien moins que facile d'obtenir une image simple parfaitement homogène, on n'arrive jamais à une extinction rigoureusement complète.

» Dans ses belles recherches sur la rotation du quartz, M. Biot a employé un verre coloré, qui ne laisse passer que les rayons rouges extrêmes du spectre. Or, il importe de remarquer, d'une part, que le moment de l'extinction de l'image extraordinaire n'est pas instantané, ou, si l'on veut, que la disposition de cette image persiste dans une certaine étendue d'arc; et, de l'autre, que l'étendue de cet arc est puissamment influencée par les variations d'intensité de la lumière atmosphérique incidente. M. Biot, qui a signalé ces causes d'incertitude, a noté que l'amplitude totale des limites absolues de disparition et de réapparition de l'image pouvait varier de 4 à 30 degrés. Cette variabilité ne peut manquer d'être aussi subordonnée à la sensibilité de l'œil de chaque observateur en particulier. De là, l'importance des préceptes donnés par le savant physicien dont nous venons de parler. On devra, d'après lui, se soustraire complétement à l'accès de toute lumière autre que celle qui traverse les appareils. De plus, on fixera

Digitized by Google

le zéro de l'instrument en déterminant, par des essais répétés quinze ou vingt fois, les limites de visibilité de l'image extraordinaire. La moyenne de tous ces essais donnera la vraie position du zéro, à une petite fraction près. Il est vrai de dire que cette fixation une fois faite n'a plus besoin que d'être vérifiée de temps à autre. Mais, pour les déviations, on appliquera le même mode de détermination à chaque mesure en particulier, et M. Biot conseille de recommencer les essais jusqu'à vingt et même trente fois, suivant le besoin.

» Comme à chaque essai on doit rendre la lumière pour lire sur le cercle divisé le point où l'on s'est arrêté, l'œil de l'observateur passe par des alternatives de lumière et d'obscurité, qui, pour quelques personnes, ne laissent pas de causer de la fatigue.

» M. Biot, afin de rendre les recherches moins longues et moins pénibles, a indiqué pour l'étude des liquides doués du pouvoir rotatoire les propriétés précieuses dont jouit la teinte d'un bleu violet qui, par le moindre déplacement du prisme analyseur, passe rapidement au rouge sombre ou au bleu pur. De là, le nom de *teinte de passage* qui lui a été assigné. L'observation de cette teinte permet de se borner à un seul essai, et telle en est la sensibilité, que M. Biot s'en est servi pour mesurer la rotation dans des liquides qui semblaient inactifs quand on avait recours à l'emploi du verre rouge. Malheureusement, il n'est plus possible de s'en servir quand l'amplitude des déviations excède notablement une demi-circonférence; les caractères en deviennent moins précis. De plus, si les liquides sur lesquels on opère sont colorés, cette teinte de passage est altérée dans sa nuance et ne guide plus l'observateur d'une manière aussi sûre. Enfin, les divers expérimentateurs ne l'arrêtent pas toujours au même point : pour les uns, elle se montre tirant sur le bleu, et pour les autres, vers le rouge. Sans doute, et les belles expériences de M. Biot le prouvent, on peut, malgré ces causes d'incertitude, arriver à des résultats d'une grande précision. Néanmoins, il m'a semblé utile de soumettre au jugement de l'Académie un procédé plus simple, à l'aide duquel on peut prendre du premier coup le zéro d'un appareil de polarisation et mesurer les déviations opérées par le quartz ou les liquides, même quand ils sont colorés, et sans qu'il soit nécessaire de se placer dans l'obscurité.

» Ce procédé consiste à interposer sur le trajet du rayon polarisé

Digitized by Google

un système composé de deux plaques d'égale épaisseur de quartz perpendiculaire, accolées l'une à côté de l'autre. L'une de ces plaques est *lévogyre*, et l'autre *dextrogyre*.

» Elles offrent la même nuance quand le plan de la section principale du prisme biréfringent coïncide avec celui d'incidence. Mais, pour peu qu'on s'écarte de cette coïncidence dans un sens ou dans l'autre, cette similitude de coloration n'a plus lieu. Si la rotation de l'analyseur s'est faite vers la droite, la plaque dextrogyre monte vers une couleur d'un ordre supérieur, tandis que la plaque lévogyre descend: le mouvement étant égal de part et d'autre, mais en sens inverse, il en résulte que la différence est double.

» Maintenant, pour étudier la rotation des corps solides ou liquides, on les interpose entre la plaque composée et l'analyseur. A l'aide de ce procédé, j'ai pu facilement apprécier l'effet de lames de quartz assez minces pour être aussi flexibles que du mica.

» Comme il s'agit ici de rétablir, par le mouvement de l'analyseur, l'identité de teinte entre deux lames juxtaposées et que l'on observe simultanément, on comprend bien que la sensibilité de l'œil de l'observateur, l'intensité de la lumière incidente et la coloration du corps solide ou liquide dont on étudie le pouvoir rotatoire, soient tout à fait sans influence sur le résultat.

» J'ai vérifié ces propositions en soumettant mon appareil à l'examen d'un grand nombre de personnes, en opérant dans les conditions les plus variées d'éclairement, et, enfin, en interposant des verres colorés. »

Avant de présenter ce petit mémoire, M. Arago, mu par un sentiment de délicatesse qui lui fait le plus grand honneur, crut, pour mieux consacrer les droits de l'habile artiste en sauvegardant les siens, devoir faire à l'Académie la communication suivante :

Sur une nouvelle lunette prismatique.

« La nouvelle lunette prismatique porte devant l'objectif une de ces lames de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, qui, *dans les deux moitiés de leur étendue*, font tourner la lumière polarisée en sens contraires. Dans une certaine position de cette lunette, la lumière, même quand elle arrive complétement polarisée, donne deux images incolores. Lorsque cette position est trouvée expérimentalement, on

Digitized by Google

n'a qu'à couvrir des portions aliquotes quelconques d'une des deux moitiés de la lame, et les images se colorent par des parties aliquotes correspondantes des deux couleurs dont se teindraient les deux images, si elles se formaient à l'aide de la lumière polarisée transmise par l'une seule des deux moitiés de la plaque.

« Cette lunette, employée avec des verres monochromatiques, peut servir à résoudre une multitude de problèmes, relatifs à la photométrie, compliqués de phénomènes de polarisation.

« Au reste, a dit M. Arago en terminant sa communication, si j'ai signalé aujourd'hui en quelques paroles cette application des lames de cristal à deux rotations, c'est que M. Soleil doit présenter dans la séance un instrument où ces lames jouent un rôle essentiel et très-curieux. Or, quoique les deux appareils soient extrêmement distincts par leur forme et par leur objet, j'ai tenu à montrer que le mien a précédé celui de l'ingénieux opticien. Les savants doivent, suivant moi, respecter jusqu'au scrupule les droits des artistes qui travaillent pour eux. S'il était vrai que ce principe eût été quelquefois méconnu, j'aurais montré, quant à moi, par ces explications et ma communication hâtive, combien il me paraît sacré. »

Nouvel appareil propre à la mesure des déviations dans les expériences de polarisation rotatoire, par M. SOLEIL.

« La double plaque que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie dans la séance du 9 juin dernier ne peut être employée que pour mesurer des déviations très-peu considérables, telles que celles que produiraient des lames de quartz d'une épaisseur inférieure à 0^{mm} 6 ou des colonnes d'essence de térébenthine moindres que 41 millimètres.

« L'appareil que je présente aujourd'hui permet d'apprécier d'une manière rigoureuse la déviation produite par une couche active d'une épaisseur quelconque.

« Le principe sur lequel est fondé cet appareil se trouve dans les belles expériences par lesquelles M. Biot a montré qu'à l'exception de l'acide tartrique, les corps organiques doués de la propriété rotatoire l'exercent suivant les mêmes lois que le quartz. D'après ces expériences, si l'on combine une lame de quartz dextrogyre avec

Digitized by Google

une colonne d'essence de térébenthine, les épaisseurs de l'une et de l'autre étant dans le rapport de 1 à 68,5, il y aura compensation exacte, et l'on n'observera aucune rotation.

» Si donc il était possible d'avoir à sa disposition une série de plaques de quartz, d'épaisseurs et de rotations convenables, on pourrait, en les associant successivement avec les corps que l'on veut étudier, arriver, dans tous les cas, à une neutralisation parfaite.

» En comparant, dans chaque couple formé d'une lame de quartz et d'une couche douée de rotation contraire, les épaisseurs qui donnent lieu à la compensation, on aurait le rapport exact du pouvoir rotatoire de chaque substance comparé à celui du quartz.

» Mon appareil est destiné à remplacer la série de plaques de quartz, qu'il serait impossible de faire assez complète pour satisfaire à tous les cas.

» Il se compose, suivant le procédé proposé par M. Babinet pour obtenir des plaques à épaisseurs variables, de deux longs prismes de quartz de même rotation, rectangulaires et parfaitement identiques. Ils sont montés de manière à s'avancer parallèlement l'un sur l'autre suivant le côté opposé à l'angle droit. Ils constituent ainsi par leur combinaison une lame à faces parallèles dont l'épaisseur, qui peut être graduée à volonté, est indiquée par une division gravée sur les côtés de la monture.

» A raison du mode d'action de ce nouvel appareil, je le désigne sous le nom de *compensateur*.

» Il est nécessaire d'en avoir pour chaque espèce de rotation.

» Pour appliquer le compensateur à la mesure des rotations, je le combine avec ma double plaque. Je suppose, par exemple, que celle-ci donne la teinte de passage. Si nous interposons une colonne de sirop de sucre de 1 décimètre d'épaisseur, l'identité de couleur des deux éléments de la double plaque sera détruite immédiatement; mais, dans ce cas, nous aurons beau tourner le prisme analyseur, nous n'arriverons jamais à rétablir l'identité de teinte des deux lames qui constituent la double plaque. L'épaisseur de la couche de sucre interposée ne permet pas qu'il en soit autrement.

» Aussi, laissant en place le prisme analyseur, je dispose un compensateur lévogyre sur la colonne de sirop de sucre, et je fais mar-

Digitized by Google

cher les deux lames prismatiques qui le constituent à la rencontre l'une de l'autre, jusqu'à ce que les deux éléments de la double plaque aient repris l'indentité de teinte qui leur appartenait avant l'interposition du sucre. Ce phénomène arrive lorsque l'effet produit par la colonne de sucre est neutralisé par celui que détermine la lame composée du compensateur.

» Si la couche du corps que l'on étudie était trop puissante pour le compensateur que l'on a à sa disposition, on commencerait par détruire la majeure partie de l'effet de cette couche au moyen d'une plaque additionnelle de quartz à faces parallèles et d'une épaisseur connue, et l'on compléterait la neutralisation à l'aide du compensateur.

» Enfin, mon nouvel instrument peut servir à vérifier les lois de la polarisation rotatoire dans le cristal de roche.

» Pour ce genre d'expériences, j'y adapte à demeure une plaque de quartz à faces parallèles et de rotation contraire à celle du compensateur ; par suite de cette addition, on part de 0 rotation, et l'on s'élève par degrés jusqu'au maximum que peut fournir l'instrument.

» Je dois faire observer aussi que cette même addition permet d'appliquer le compensateur à la mesure des rotations des lames de quartz d'une épaisseur moindre que $0^{mm}6$. »

Note sur le reproducteur des teintes sensibles, par M. SOLEIL.

« Dans le saccharimètre soumis par l'auteur au jugement de l'Académie, les 23 juin et 18 août 1846, le pointage se fait à l'aide d'une plaque de quartz à deux rotations, et la mesure de la richesse en sucre du liquide observé s'obtient au moyen du compensateur. Ce dernier appareil peut être comparé à une lame de quartz perpendiculaire à l'axe, variable à la fois quant à l'épaisseur et au sens de la rotation à droite ou à gauche, et pouvant, par là-même, être amenée au degré convenable, pour compenser exactement l'effet de rotation produit par la colonne du liquide sucré qu'il s'agit d'analyser.

» L'avantage du mode de pointage adapté à ce saccharimètre résulte principalement de la facilité avec laquelle on compare les deux teintes juxtaposées de la plaque à double rotation. Pour rendre ce

Digitized by Google

pointage encore plus efficace, l'épaisseur donnée à la plaque de quartz correspond à la teinte désignée par M. Biot sous le nom de *teinte de passage*.

» Mais, dans la pratique usuelle, la nuance des différentes lumières dont on s'éclaire, et la coloration des liquides à essayer, s'ajoutent à la teinte dont il vient d'être question, et la modifient sans cependant détruire l'identité de couleurs des deux demi-cercles juxtaposés de la plaque à deux rotations, identité qui est la condition essentielle du pointage.

» Il résulte de là moins de sensibilité dans les nuances observées, et, par suite, moins d'exactitude dans les évaluations.

» Pour obvier à cet inconvénient, M. Soleil avait ajouté à son appareil une pince destinée à recevoir un ou plusieurs verres colorés, et choisis dans les nuances complémentaires de la coloration anormale du liquide et de la lumière employée.

» Cette addition remplissait assez bien le but proposé ; mais, outre qu'il est difficile d'avoir toujours à sa disposition un nombre suffisant de verres convenablement nuancés, ces verres absorbent une assez forte proportion de lumière.

» On obtient un résultat beaucoup plus satisfaisant en recourant à l'appareil suivant, qui n'est, au fond, qu'une application nouvelle du grand fait de la polarisation chromatique découvert par M. Arago, qu'une modification de ce merveilleux instrument qui, dans les mains de son inventeur, est déjà devenu tour à tour polariscope, scopéoscope, polarimètre, cyanomètre, photomètre.

» Derrière un prisme de Nicol, on fixe, dans un même tuyau, une plaque de quartz perpendiculaire à l'axe et de l'épaisseur indiquée par M. Arago, comme la plus convenable pour la production de teintes riches, ni lavées, ni assombries. Le rayon polarisé par le prisme s'épanouit, par son passage à travers la plaque de cristal, en une série circulaire de rayons colorés et polarisés dans des plans différents. Ces rayons arrivent au polarisateur du saccharimètre, et ce polarisateur invariablement fixé, servant d'analyseur par rapport à la lumière qui sort de la plaque de cristal, laisse passer, en plus grande proportion, celui de ces rayons dont le plan de polarisation coïncide avec sa section principale.

» On conçoit dès lors : 1° qu'en faisant tourner l'ensemble du

Digitized by Google

prisme de Nicol et de la plaque, on puisse colorer d'une teinte voulue quelconque le rayon qui va traverser le liquide plus ou moins coloré dont on veut faire l'analyse ; 2° que la teinte artificielle obtenue ainsi, s'ajoutant à la teinte communiquée par le liquide et la modifiant, reproduise, dans tous les cas, une de ces teintes sensibles nécessaires pour un pointage parfait.

» Le petit appareil composé du prisme de Nicol et de la plaque équivaut donc, par sa nature, à une série indéfinie de verres colorés, et la remplace complétement. On pourrait l'appeler, en raison des fonctions qu'il remplit ici, le *Reproducteur des teintes sensibles.* »

Saccharimètre de M. Soleil.

La plaque a deux rotations : le compensateur, le reproducteur des teintes sensibles, voilà les éléments essentiels de l'incomparable instrument que M. Soleil a inventé, construit et désigné sous le nom de saccharimètre, instrument qui permet d'évaluer en quelques minutes et à un centième près la qualité et la quantité du sucre renfermé dans un liquide saccharifère quelconque. Aucun appareil n'a rendu plus de services à l'industrie, aucun aussi n'a eu plus de vogue. Appliqué d'abord presque exclusivement au sucre ordinaire, il s'est étendu peu à peu au sucre des diabètes, au lait, à la bière, au vin, etc., etc. Il faut avoir fait tour à tour l'analyse chimique et l'analyse physique du sucre pour bien comprendre l'immense supériorité du saccharimètre. Il y a quelques jours nous avions à analyser quatre sortes de sucre : 1° du sucre brut, tel qu'il sort du vaporisateur ; 2° ce même sucre dépouillé d'une partie de sa mélasse par une première action de la force centrifuge dans la toupie à rotation ; 3° ce même sucre, après une seconde action de la toupie centrifuge ; 4° enfin, ce même sucre soumis à l'action du pressoir continu de M. de Jouffroy. Voici les nombres donnés en quelques minutes par le saccharimètre : 83 pour le sucre brut, 93 pour le sucre après son premier passage à travers la toupie, 93 aussi pour le sucre pressé, et 95 enfin pour le sucre soumis deux fois à l'action de la force centrifuge. Ces analyses nous ont révélé un grand secret, c'est que, par une seule pression dans le pressoir continu de M. de Jouffroy, si neuf, si original, si manufacturier, on peut enlever au sucre jusqu'à dix pour cent de la

Digitized by Google

mélasse qu'il renferme, et élever son titre dans le rapport de 83 à 93.

Nous ne donnerons ici ni la description complète, ni la figure du saccharimètre de M. Soleil; nous reproduirons seulement le rapport de M. Babinet, avec quelques extraits des rapports de MM. Balard et Becquerel.

Rapport sur le saccharimètre de M. Soleil, par MM. ARAGO, REGNAULT, BABINET.

« Après la découverte de la polarisation par Malus, et la découverte de la polarisation chromatique par M. Arago, polarisation que ce dernier reconnut dans les lames cristallisées, les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, et même dans des corps non cristallisés, tels que divers échantillons de flint-glass, etc., M. Biot étudia les phénomènes de rotation du cristal de roche parcouru suivant l'axe par des rayons polarisés; il découvrit, de plus, que des liquides, et même des vapeurs, jouissaient de la propriété rotatoire. Peu de faits scientifiques excitèrent autant d'étonnement que cette action sur la lumière, action indépendante de toute forme cristalline comme de tout état solide, liquide ou gazeux des corps qui l'exerçaient. M. Biot constata que ces corps portaient leur pouvoir rotatoire avec le sens de la rotation dans les dissolutions, les mélanges, et même dans un grand nombre de combinaisons chimiques, en sorte que la rotation produite par le composé ou le mélange était en proportion de la quantité de la substance douée du pouvoir rotatoire qu'il contenait. Il montra ainsi le caractère moléculaire de l'action qu'il avait découverte, et l'isola en même temps de l'action analogue du quartz, qui ne conserve point cette faculté dans les milieux siliceux transparents qui sont ou amorphes, ou hydratés, ou fondus au feu, ou dissous dans la potasse, ou déposés à l'état hyalin sans cristallisation. Enfin, il eut l'idée importante de faire servir la propriété rotatoire d'une dissolution à l'analyse chimique d'un composé, en déterminant la quantité d'un principe actif combiné avec d'autres principes neutres par l'effet optique du mélange. Les solutions saccharifères attirèrent en première ligne son attention, à cause de l'importance industrielle des procédés qui peuvent faire connaître la quantité de sucre cristallisable contenue dans un liquide plus ou

Digitized by Google

moins concentré. M. Biot a exposé avec de grands détails les précautions à prendre pour opérer la mesure de la rotation avec le plus de précision possible. Il place son appareil dans une chambre obscure ; il choisit la lumière blanche de certains nuages dans une certaine constitution de l'atmosphère ; il opère sur des liquides suffisamment décolorés ; il mesure angulairement la déviation du plan de polarisation du rayon polarisé qui a traversé le liquide ; enfin, il a eu l'heureuse idée de choisir une teinte qu'il appelle, à juste titre, teinte sensible, et qui est telle, que la moindre déviation de l'azimut de l'analyseur la fait changer rapidement : en sorte qu'un observateur un peu exercé choisit exactement cette même teinte, et y pointe avec sûreté dans l'état normal de l'organe protégé par l'obscurité. On doit, de plus, à M. Biot l'importante découverte que les solutions saccharifères suivent les mêmes lois que le cristal de roche dans leur action sur les plans de polarisation des rayons de diverses couleurs, de sorte qu'il est toujours possible de compenser l'action d'une certaine épaisseur de la dissolution par l'action d'une plaque de cristal de roche d'une épaisseur convenable et de rotation inverse.

» C'est sur cette dernière propriété que M. Soleil a fondé la mesure du pouvoir rotatoire d'un liquide saccharifère, but essentiel de son instrument. Il substitue au cercle divisé un compensateur formé de deux lames prismatiques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, mobiles l'une sur l'autre et formant une véritable plaque d'épaisseur variable, qui, combinée avec une plaque d'épaisseur constante et de rotation inverse, donne un système neutre pour une position normale des deux lames prismatiques. Si, par un glissement convenable, on vient à augmenter l'épaisseur des deux lames combinées, on obtient une rotation résultante de même sens que l'action des deux lames, et proportionnelle à l'excès d'épaisseur de ces deux lames combinées sur l'épaisseur de la plaque invariable. Si l'on veut, au contraire, obtenir un effet rotatoire inverse, on fera glisser les deux lames prismatiques de manière à diminuer leur épaisseur, et la plaque invariable, étant alors prédominante, produira un excès de rotation dans le sens qui lui est propre et proportionnel à son excès d'épaisseur. D'après les besoins de la pratique et le degré de précision que comportent la nature des dissolutions saccharifères et la fixité

Digitized by Google

de leur action, M. Soleil se borne à marcher par centièmes de millimètre de quartz qui occupent, d'après l'inclinaison des lames prismatiques, une étendue très-facile à lire au vernier et sans loupe. Cette quantité correspond à peu près à un quart de degré de déviation dans le plan de polarisation. La solution est contenue dans un tube de 20 centimètres de long, dont une pratique raisonnée a de même indiqué la convenance. Alors on peut opérer même sur des liquides de teinte assez foncée. Le pouvoir rotatoire de ces liquides est donc déterminé par le nombre de centièmes de millimètre de quartz qui en compense l'action ; et comme d'ailleurs des expériences préalables sur la compensation de solutions titrées ont fait connaître la compensation correspondante à un titre donné, réciproquement, on conclut le titre de la solution de la compensation qu'elle exige.

» L'emploi si avantageux que M. Biot avait fait de la teinte sensible *bleu violacé clair*, *fleur de lin*, pour obtenir un pointé fixe, devait être suivi dans tout appareil saccharimétrique. M. Soleil y a ajouté une disposition ingénieuse qui dispense de retenir pour ainsi dire de mémoire la teinte sensible, évite l'obligation de placer l'organe dans des conditions normales, et en même temps éloigne la crainte de jugements divers dépendants de la diversité des observateurs.

» Pour cela, il place en avant de la dissolution saccharifère, et immédiatement après le polarisateur, un système composé de deux plaques juxtaposées de cristal de roche, d'épaisseurs égales et de rotation inverse, qui dans une ouverture circulaire donnent naissance dans chaque image à deux demi-disques qui offrent des couleurs différentes sitôt que l'action du liquide et celle du compensateur cessent d'être égales ; car, alors, l'effet résultant s'ajoutant à l'effet d'une des plaques et se retranchant de l'autre, la double différence se manifeste de suite par une dissemblance de teintes dans les deux demi-disques. Des essais multipliés ont fait voir que l'action des lames de quartz les plus minces possibles, l'action des solutions les moins chargées de sucre, se manifestaient et se mesuraient avec autant de facilité que l'action des solutions les plus riches.

» Quand la plaque de M. Soleil a $3^{mm},75$ d'épaisseur, elle donne dans l'image ordinaire des deux demi-disques la teinte sensible de M. Biot, et dans l'extraordinaire, une teinte jaune serin. Avec $7^{mm},50$, la

Digitized by Google

teinte sensible est dans l'image extraordinaire, et la teinte jaune est dans l'image ordinaire. L'une et l'autre épaisseur peuvent être employées : M. Soleil préfère la dernière.

» Le double effet de diminution d'un côté, sur l'un des demi-disques, et d'augmentation de l'autre, manifeste l'action d'une dissolution active par une dissemblance de teintes dans les deux demi-disques, laquelle est toujours hors de discussion, puisque les deux objets de comparaison sont en présence (1). L'utile emploi de l'ingénieuse disposition de M. Soleil, dans un grand nombre de cas, a été depuis signalé par M. Biot et par d'autres physiciens. M. Arago, en remplaçant la plaque unique de son polariscope, déjà si parfait, par la double plaque de M. Soleil, a obtenu plusieurs avantages importants, et entre autres la détermination du plan de polarisation qui est dirigé suivant la ligne des centres des deux disques, quand, dans ceux-ci, les deux demi-disques sont de la même teinte, et encore dans le cas des lumières colorées qui, dans ce polariscope, causent quelque embarras sur l'estime de la direction de leur plan de polarisation. Au reste, dans l'instrument de M. Soleil, la constance des indications particulières et la concordance des résultats obtenus par divers observateurs ne laissent aucun doute sur la précision de ce pointé, surtout quand on y joint l'illuminateur dont nous allons parler, pour obtenir la teinte la plus sensible qui convient à chaque cas particulier.

» Ce troisième élément de l'appareil de M. Soleil a pour but de produire une illumination telle que, sans décolorer le liquide et

(1) Pour montrer que, hors des conditions normales si exactement décrites par M. Biot, et nécessaires pour la sûreté du pointé, on peut commettre des erreurs graves, M. Soleil a construit un appareil à cadran divisé, muni d'une plaque de quartz donnant la teinte sensible. Si, en plein air, on reproduit cette teinte en pointant sur une portion de nuage médiocrement éclairée, cette teinte passe au rouge en pointant sur une portion plus éclairée, et au bleu sur une portion plus obscure. Si, au moyen de la rotation de l'analyseur, on reproduit forcément, dans tous les cas, la teinte sensible, on trouve alors des angles fort différents pour la position de l'analyseur qui reproduit cette même teinte. Dans plusieurs essais, la différence s'est élevée à 4 degrés. Si l'on oublie les utiles et indispensables précautions recommandées par M. Biot, le bleu du ciel et d'autres circonstances météorologiques peuvent porter cette erreur à 8 degrés.

Digitized by Google

en employant à volonté la lumière du jour ou la lumière commode d'une lampe, on puisse opérer néanmoins sur une teinte très-sensible, que l'on choisit d'après la nature du liquide et d'après l'organe de l'observateur. M. Soleil avait d'abord eu recours à plusieurs verres colorés qu'il plaçait devant l'appareil, et par des essais successifs il choisissait celui qui produisait la teinte qui variait le plus rapidement avec la marche du compensateur, et produisait ainsi le pointé le plus sensible. Le nouvel illuminateur, qui donne facilement un grand nombre de teintes diverses, sans grande perte de lumière, est tout simplement une plaque de cristal de roche d'environ 6 millimètres, précédée d'un prisme de Nicol, et placée en avant du polarisateur de l'appareil. Ce polarisateur développe dans la lumière polarisée qui lui arrive ainsi au travers de la plaque de quartz les couleurs ordinaires, qui, comme on sait, offrent une grande variété de teintes. Pour reconnaître parmi toutes celles-ci la plus sensible, on produit l'identité dans les deux demi-disques de l'appareil pour une teinte quelconque, et, s'il en est une autre plus sensible, ce sera celle qui indiquera une dissemblance dans les deux demi-disques pour la même position du compensateur, où les autres teintes ne donneraient pas de différence perceptible. Il est évident, du reste, que l'identité obtenue pour cette teinte subsiste pour toutes les autres à plus forte raison, et l'on observe avec intérêt combien pour chaque nature de liquide, de lumière, d'organes et d'individus, varie la nature elle-même de cette teinte sensible, et combien il est utile de pouvoir transporter à des cas quelconques l'importante pratique de M. Biot.

» Nous avons fait plusieurs essais de l'appareil de M. Soleil, et notamment dans le laboratoire vraiment saccharimétrique de M. Clerget. Il serait trop long de passer en revue la disposition de toutes les pièces de l'appareil qui ont été fixées d'après les besoins de la pratique. Le zéro, ou point de départ du compensateur, s'obtient facilement, et les divisions par centièmes de millimètre de quartz, qui correspondent à peu près à quinze minutes de déviation du plan de polarisation, sont suffisamment rapprochées (1). Le pointé acquiert

(1) Le programme d'un prix proposé par la Société d'encouragement demandait un procédé qui permît d'apprécier, à 2 pour 100 près, la richesse des substances saccharifères. Le saccharimètre de M. Soleil permet d'aller beaucoup au-delà.

Digitized by Google

une très-grande précision par un système oculaire analogue à une petite lunette de Galilée, et l'illuminateur lui-même est suivi d'un collimateur fort utile pour l'intensité de la lumière et pour écarter les réflexions nuisibles des surfaces postérieures du prisme de Nicol, etc...

» En résumé, l'instrument de M. Soleil est d'une dimension commode, d'un pointé précis; il donne, par la compensation, des mesures exactes du titre des liquides saccharifères, souvent même sans avoir besoin de les décolorer; il permet de choisir facilement une teinte sensible; il se prête de jour et de nuit, et dans tout local, à l'emploi de la lumière naturelle ou artificielle, et au service de la manufacture; enfin, ses indications se trouvent toujours d'accord avec elles-mêmes, sans exiger de notions scientifiques préalables dans celui qui en fait usage.

» Votre Commission vous propose de donner votre approbation au saccharimètre de M. Soleil, et de décider que les notes relatives à la compensation, à l'illumination par teintes variables, et au pointé par les teintes simultanées des demi-disques à rotation inverse, avec la gravure de l'instrument et les détails de sa construction, seront insérées dans le *Recueil des Savants étrangers*. »

Les conclusions de ce rapport ont été adoptées.

Extrait du rapport fait à la Société d'encouragement,
par M. BALARD.

«.... Fait-on varier les proportions de sucre, le nombre de degrés marqués par l'instrument restera toujours proportionnel à la quantité de sucre dissoute, et indiquera la richesse de la nouvelle dissolution. On voit, dès lors, que, si les sucres bruts ou les liqueurs sucrées que l'on examine ne renfermaient que des substances dénuées de pouvoir rotatoire, une simple observation, pour laquelle sept ou huit minutes suffisent, donnerait immédiatement le titre du produit. C'est ce qui arrive souvent, par exemple, pour le sucre indigène, dont le titre direct diffère si peu du titre définitif, que les fabricants chez lesquels la méthode de M. Clerget est employée se contentent généralement de cette seule observation au saccharimètre.

» Mais les matières associées aux sucres peuvent posséder un pou-

Digitized by Google

voir rotatoire s'exerçant soit à droite, soit à gauche, et susceptible, dès lors, d'augmenter ou de diminuer le titre des produits que l'on essaie. Le suc de la betterave, par exemple, d'après les nombreux essais de M. Clerget, renferme une faible proportion d'un principe tournant à droite et autre que le sucre lui-même, tandis qu'il arrive parfois que le sucre des colonies contient une petite quantité de glucose incristallisable tournant à gauche, développé par un commencement de fermentation.

» Pour arriver, dans ce cas, à une détermination exacte de la quantité de sucre réel, on utilise ce que l'on appelle l'inversion du sucre, changement de sens et de pouvoir rotatoire, que M. Biot a appris à produire au moyen des acides. Mais l'action est lente à froid, et, si l'on essaie de l'accélérer par l'élévation de la température, on risque de colorer la dissolution en détruisant du sucre, et de rendre ainsi difficile la nouvelle observation du pouvoir rotatoire. M. Clerget a montré comment on évite ces inconvénients en élevant peu à peu le liquide à 68 degrés, température à la fois suffisante et nécessaire pour produire l'effet désiré.

» Le sucre cristallisable est, parmi les substances que contiennent les sucres bruts, la seule qui jouisse de la propriété d'être ainsi intervertie par les acides. On conçoit, dès lors, que, en mesurant le degré que marque la nouvelle liqueur, la différence qui s'obtient en prenant la somme des deux rotations, quand la seconde est de signe contraire avec la première, ce qui arrive le plus souvent, indique l'inversion qui a eu lieu, et connaissant celle qu'éprouve le sucre pur, on peut en conclure la quantité de ce produit, qui existait dans un mélange complexe de substances douées du pouvoir rotatoire.

» M. Mitscherlich a observé que ce pouvoir rotatoire à gauche du sucre interverti varie avec la température. M. Clerget, qui, de son côté, était arrivé aux mêmes résultats, a dû nécessairement étudier les lois de cette variation, afin de construire la table qu'il a publiée dans vos *Bulletins* et au moyen de laquelle, étant données l'inversion produite et la température à laquelle elle a été observée, on en déduit la richesse en sucre du produit étudié. Le pouvoir rotatoire d'une solution marquant d'abord 100 degrés, et ensuite intervertie, diminue environ d'une demi-division de l'échelle pour chaque élévation de température de 1 degré, ainsi que l'a constaté M. Clerget par

Digitized by Google

des recherches faites avec un soin scrupuleux et auxquelles l'Académie vient d'accorder sa plus haute sanction en ordonnant leur insertion dans son *Recueil des Savants étrangers*.

» Ces tables, votre comité a eu plus d'une fois à en constater l'exactitude, non pas en en contrôlant d'une manière directe les principaux nombres, mais en analysant des mélanges saccharins connus, genre de vérification qui permet de juger à la fois l'instrument, la méthode et les tables elles-mêmes.

» A un sucre brut d'une composition connue nous avons ajouté des quantités croissantes de sucre pur, et toujours nous avons pu, sans hésitation, apprécier à un centième près la quantité de sucre réel contenue dans le mélange examiné. Nous avons analysé des mélanges artificiels de sucre avec de la dextrine, du glucose, du sucre de fruits, etc., et ces composés si complexes nous ont toujours aussi donné les indications les plus fidèles. Nous pouvons donc assurer que le procédé pour lequel nous sollicitons votre approbation est d'une exactitude irréprochable et d'une sensibilité plus grande que celle que demandait le programme, qui se contentait d'une indication fidèle à deux centièmes près.

» Mais ce procédé dont nous venons d'apprécier l'exactitude est-il manufacturier ? Question complexe et qui comprend les suivantes : est-il d'une exécution prompte, d'un résultat sûr, d'un emploi facile ? jusqu'à quel point l'habitude des opérations délicates est-elle nécessaire pour mettre en œuvre une méthode qui, outre une pesée et la lecture de deux thermomètres, exige l'appréciation d'une égalité de teinte et la lecture d'un vernier ?

» Quant à ce qui concerne la durée de l'épreuve, nous avons déjà dit que l'essai sans inversion n'exigeait que sept à huit minutes. Avec l'inversion, vingt-cinq sont nécessaires ; mais on conçoit qu'en faisant marcher de front plusieurs opérations, ce temps peut être notablement abrégé. Pour ce qui concerne la mélasse, malgré les moyens ingénieux que M. Clerget a imaginés pour rendre commode la filtration sur le noir, la nécessité de décolorer deux fois par le charbon et de déféquer par le sous-acétate de plomb fait que l'essai exige une heure et demie environ; mais il faut dire aussi que, portant ordinairement sur de plus grandes quantités de matières, on n'a, dans la pratique, à l'exécuter que bien plus rarement que les autres.

Digitized by Google

» Voilà pour le temps ; quant à ce qui concerne la sûreté des appréciations, il nous suffira de dire que les indications fournies par l'instrument sont assez faciles à saisir pour qu'au bout d'une heure au plus d'apprentissage des observateurs différents tombent tous sensiblement sur les mêmes nombres.

» Pour apprécier la facilité de l'observation, nous avons enfin fait pratiquer des essais saccharimétriques par des personnes étrangères au maniement des instruments de précision, et les résultats qu'elles ont obtenus ont été conformes à la vérité. Des manufacturiers habiles, dans l'usine desquels cette méthode saccharimétrique commence à être employée en même temps que celle de M. Payen, nous ont d'ailleurs assuré que, pourvu que les indications de l'instrument fussent fidèles, et nous venons de voir qu'elles l'étaient, il n'y aurait aucun obstacle à ce qu'il fût employé par les fabricants. Nous n'hésitons donc pas à affirmer que, si l'administration des finances voulait le prendre pour base de la fixation des droits sur les sucres, elle trouverait, dans les grands centres où se font le commerce et la fabrication de ces produits, des agents pour lesquels la pratique de ce procédé ne présenterait point de difficultés sérieuses.

» Le procédé saccharimétrique est donc exact et manufacturier.

» Le problème de la saccharimétrie, tel que vous l'aviez posé, se trouve, par conséquent, résolu, et nous venons avec confiance vous demander de décerner le prix de 2,000 fr., que vous aviez proposé pour la solution de cette importante question, à M. Clerget, pour sa méthode, et à M. Soleil, pour l'instrument qui en facilite l'application. »

Conclusions du rapport de M. EDMOND BECQUEREL.

En résumé, le saccharimètre de M. Soleil réunit à une manœuvre facile et prompte une grande sensibilité, et permet à des personnes qui ne sont pas familières avec les expériences de physique de mesurer d'une manière suffisamment exacte le pouvoir rotatoire des dissolutions sucrées, même lorsque les dissolutions sont légèrement colorées. Cet appareil, construit avec toute la sagacité et la précision que l'habile opticien apporte dans la pratique de son art, est donc destiné à rendre de grands services aux sciences et à l'industrie.

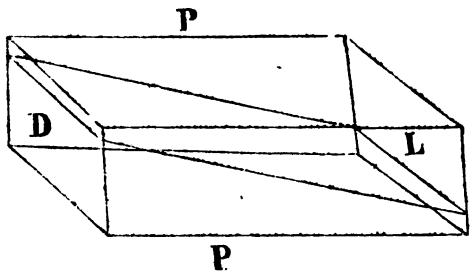
Digitized by Google

En conséquence, le comité des Arts économiques a l'honneur de vous proposer d'approuver le saccharimètre de M. Soleil, et d'ordonner l'insertion du présent rapport dans le *Bulletin*.

Note sur la construction de deux plaques qui mettent en évidence les déviations du plan de polarisation, par M. SOLEIL.

Ces plaques se composent de quatre prismes de quartz, de même angle, deux dextrogyres et deux lévogyres, ayant tous quatre une de leurs faces perpendiculaire à l'axe du cristal, et disposée comme nous allons l'indiquer.

1.

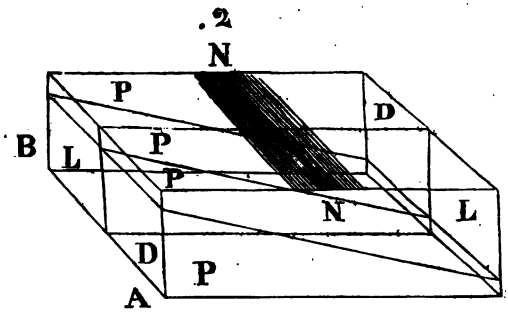


I. Admettons d'abord qu'on fasse un premier couple A, fig. 1, en superposant deux de ces prismes de rotation contraire D, L, en plaçant la base de l'un contre le sommet de l'autre, et mettant en dehors les faces P perpendiculaires à l'axe; on aura formé ainsi un parallélipipède rectangle qui, vu dans la lumière polarisée, se montrera partagé en deux parties égales par une ligne noire parallèle aux arêtes des prismes, et correspondante à la partie moyenne, là où la lumière a traversé des épaisseurs égales des deux prismes, et où, par suite, il y a eu compensation complète des pouvoirs rotatoires. Si dans cette position on fait tourner l'analyseur à droite, la ligne noire se déplacera vers la base du prisme dextrogyre. La ligne noire au contraire s'avancerait vers la base du prisme lévogyre si on tournait l'analyseur à gauche.

Concevons maintenant qu'après avoir fait avec les deux prismes restant un second couple semblable au premier B, on accole ces

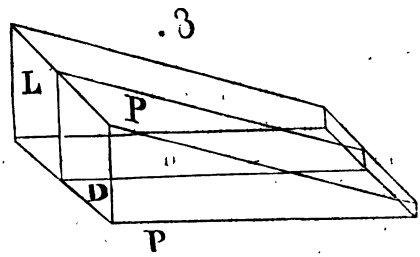
Digitized by Google

couples, fig. 2, de telle sorte que la base dextrogyre du premier soit contigue à la base lévogyre du second, etc.



Vu dans la lumière polarisée, le nouveau parallélipipède rectangle se montrera encore partagé en deux par une ligne droite sombre, composée de l'ensemble des deux lignes noires des deux couples accolés, lignes qui sont actuellement le prolongement l'une de l'autre. Mais si l'on vient à tourner l'analyseur, les deux lignes noires partielles, par suite des positions opposées des couples, marcheront en sens contraire, l'une à droite, l'autre à gauche, et leur ensemble formera une ligne brisée au lieu d'une ligne continue.

Le mode de construction que nous venons d'indiquer présente dans la pratique des difficultés réelles; il vaut mieux procéder comme il suit. On accole d'abord, fig. 3, base à base, sommet à sommet, deux pris-



mes élémentaires de rotation contraire, D, L, le dextrogyre à droite, le lévogyre à gauche, en faisant en sorte que les deux faces perpendiculaires à l'axe, placées en dessous, affleurent et forment une surface continue. Après avoir formé avec les deux autres prismes un second couple semblable, on superposera les deux couples prisma-

Digitized by Google

tiques en opposant la base de l'un à l'arête de l'autre, et réciproquement ; on recomposera ainsi le parallélipipède rectangle fig. 2, dans lequel le prisme dextrogyre d'un des couples prismatiques sera superposé au prisme lévogyre de l'autre, etc. Quand il s'agit donc de construire la plaque ou le parallélipipède rectangle fig. 2, il vaut mieux procéder par des couples prismatiques formés de deux prismes accolés ; mais quand il s'agit de la démonstration ou de l'explication des phénomènes auxquels cette plaque donne naissance, le partage en couples formés de deux prismes superposés a quelquefois un avantage réel.

Si l'on regarde dans la lumière polarisée l'un ou l'autre des couples prismatiques fig. 3, il se montre coloré d'une série de nuances croissantes depuis l'arête jusqu'à la base, et disposées par bandes parallèles à la base. L'ordre des nuances dans les deux couples est le même ; ce sont, de part et d'autre, les mêmes bandes fondues ou procédant par gradation de teintes insensibles, parce que, comme on sait, les couleurs dépendent uniquement de l'épaisseur de la plaque et nullement du sens de la rotation. Quand on superposera les deux couples, les bandes colorées disparaîtront pour donner place à un rectangle de couleur uniforme dont la nuance dépendra de l'épaisseur de la plaque composée, et qui sera, comme nous l'avons dit, partagée en deux portions égales par une ligne noire NN, fig. 2. Cette ligne sera continue tant que l'analyseur restera dans l'azimut zéro, mais elle se brisera, comme nous l'avons dit, et deviendra discontinue quand on fera tourner l'analyseur.

Il semble, au premier coup d'œil, que cette plaque soit éminemment propre à mettre en évidence les déviations du plan de polarisation ; mais en l'étudiant d'une manière plus approfondie, on voit qu'elle laisse beaucoup à désirer. En effet, pour que ses indications fussent précises, il faudrait à la fois et que la ligne noire fût très-deliée, très-nette, et qu'elle se déplaçât rapidement à la moindre rotation de l'analyseur. Or, malheureusement ces deux conditions sont contradictoires et incompatibles. En effet, pour que la ligne noire soit déliée et nette, il faut que l'angle des prismes soit assez grand ; cette ligne sera d'autant plus épaisse, diffuse et mal terminée, que l'angle des prismes sera plus petit. Au contraire, pour que la moindre rota-

Digitized by Google

tion de l'analyseur produise un effet sensible ; pour que la ligne noire se déplace rapidement, il faut que l'angle des prismes soit très-petit. Ayant donc à satisfaire à la fois à des exigences opposées, on est réduit à sacrifier de la netteté pour gagner de la vitesse, et l'instrument, si excellent en théorie, reste imparfait dans la pratique. Voilà pourquoi, après l'avoir construit, il y a longtemps, M. Soleil l'a abandonné pour lui substituer la plaque à deux rotations qui donne une ligne de séparation infiniment nette et déliée, et qui, par le contraste subit des deux couleurs, fait découvrir jusqu'aux plus minimes déviations du plan de polarisation, comme MM. Biot, Pasteur, de Sénarmont, Jamin et d'autres physiciens l'ont reconnu.

Il n'est pas impossible que la plaque à ligne noire trouve plus tard un emploi utile dans l'étude de certains phénomènes, de la polarisation elliptique, par exemple. Nous avons donc cru devoir la décrire.

II. Si l'on prend une seule des couples primitives fig. 2 d'épaisseur convenable pour avoir toutes les couleurs, depuis le jaune jusqu'au vert, c'est-à-dire de 3 millimètres d'épaisseur vers le sommet ou l'arête, de 10 millimètres à la base, et qu'après l'avoir achromatisé avec un prisme opposé de verre, on regarde la plaque ainsi composée dans la lumière polarisée, on aura sous l'azimut zéro deux séries de nuances décroissantes identiques, et telles que les nuances données par l'un des prismes élémentaires seront les prolongements des mêmes nuances données par le second prisme accolé au premier. Si ensuite on fait tourner l'analyseur, les couleurs, à cause des rotations inverses, marcheront en sens opposé, elles seront croissantes d'un côté, décroissantes de l'autre, la continuité n'aura plus lieu; des deux nuances l'une est située d'un côté de la ligne médiane, l'autre de l'autre ; la déviation du plan de polarisation est devenue ainsi manifeste. Mais la nouvelle plaque présente les mêmes inconvénients que la plaque à ligne noire, elle n'est pas assez sensible, la séparation des couleurs ne se fait sentir qu'autant que l'on a fait tourner l'analyseur de plusieurs degrés ; cette plaque cependant est curieuse, et elle pourra rendre des services réels dans des circonstances convenablement choisies.

Digitized by Google

Dosage du sucre dans l'urine des diabétiques avec le saccharimètre de M. SOLEIL, par M. LESPIAU, *préparateur de chimie au Val-de-Grâce.*

« Le sucre de diabète paraissant avoir une composition chimique identique au sucre de raisin, il était tout naturel de se demander si le saccharimètre de M. Soleil ne pourrait pas servir à doser le sucre dans l'urine des diabétiques, en se servant de tables analogues à celles de M. Clerget, que je me propose de publier plus tard. Plusieurs expériences m'ont démontré que l'urine normale ne dévie pas les rayons polarisés, et que l'on retrouve, au moyen du saccharimètre, le poids du sucre de diabètes que l'on ajoute à de l'eau distillée.

» Le saccharimètre de M. Soleil peut donc servir à doser d'une manière rigoureuse le sucre dans l'urine des diabétiques. Le procédé de M. Barresvil, qui est très-convenable pour la détermination du sucre dans les dissolutions aqueuses, ne reçoit pas ici d'application à cause des matières organiques contenues dans l'urine, matières qui précipitent le protoxyde de cuivre dans la liqueur d'épreuve.

» Trente-six expériences m'ont démontré

» 1° Que la densité maximum de l'urine d'un diabétique a été de 1,038, et la densité minimum de 1,017 ;

» 2° Que la densité de l'urine n'est pas en rapport avec la quantité de sucre qu'elle contient ;

» 3° Qu'à 7 heures du matin il y a plus de sucre dans l'urine qu'à 11 heures du matin, et à 11 heures du matin moins de sucre qu'à 5 heures du soir ; le malade faisait son repas du matin à 11 heures et demie. »

Depuis ces premières observations de M. Lespiau, l'application du saccharimètre à l'étude des progrès de la cruelle maladie que l'on a désignée sous le nom de diabète sucrée s'est très-heureusement étendue. Quel immense avantage pour le médecin et le malade que de pouvoir suivre, jour par jour, heure par heure, toutes les phases du mal qu'il faut combattre !

Albuminimètre de M. ALFRED BECQUEREL.

Tout récemment M. Alfred Becquerel, aidé des conseils de M. So-

Digitized by Google

leil, a transformé le saccharimètre en albuminimètre, c'est-à-dire en appareil propre à mesurer la quantité d'albumine contenue dans le sang et les liquides organiques, par la rotation du plan de polarisation.

L'albumine du sérum du sang et des liquides organiques jouit de la faculté de faire tourner le plan de polarisation d'un faisceau de rayons lumineux, proportionnellement à la quantité de substance active placée sur la route du faisceau. M. Bouchardat le premier assigna 27° 42′ comme mesure du pouvoir rotatoire de l'albumine.

L'appareil de M. Becquerel se compose 1° d'un polariseur, prisme de Nicol parfaitement pur ; 2° d'un tube de cristal de 20 centimètres de longueur, fermé par deux plaques à faces parallèles; 3° d'un prisme biréfringent taillé de manière qu'une des images soit éliminée ; 4° d'une petite lunette de Galilée. Le prisme et la lunette peuvent tourner axialement sur un cercle divisé : un vernier donne la minute.

Si, avant de placer le liquide albumineux dans le tube, on a mis l'analyseur à angle droit du polariseur, toute lumière a été éteinte. En mettant alors le liquide dans le tube d'expérience, on ne tarde pas à constater que *le plan à droite ou à gauche duquel des effets semblables se manifestent*, ainsi s'exprime M. Alfred Becquerel, a tourné d'un certain angle qu'on peut évaluer à quatre ou cinq minutes près.

Les nombres donnés par l'analyse physique s'accordent parfaitement avec les nombres donnés par l'analyse chimique, et M. Becquerel a pu construire ainsi une table indiquant pour chaque minute la quantité correspondante d'albumine existant dans le liquide. Chaque minute correspond à 0gr,180 d'albumine; chaque degré, 60 minutes, à 10gr,800. Dans l'état physiologique ou de santé, le sérum du sang humain contient une quantité d'albumine oscillant entre 75 et 85 millièmes, la moyenne est 80 : cette quantité diminue fréquemment et dans un grand nombre de maladies.

M. Becquerel ajoute que la mesure directe de la déviation permet d'apprécier avec une très-grande exactitude la proportion d'albumine contenue dans tous les liquides pathologiques.

Digitized by Google

Dosage du sucre de lait au moyen du saccharimètre de M. SOLEIL, *et détermination de la richesse du lait*, par M. POGGIALE.

Dans un préambule que le rédacteur des comptes-rendus a supprimé sans scrupule, M. Poggiale a bien voulu reconnaître qu'il nous devait l'idée et le mode d'analyse du lait par le saccharimètre.

« Ce nouveau moyen est basé sur les propriétés optiques du sérum du lait bien clarifié. Je me sers, pour cela, de l'ingénieux appareil de polarisation de M. Soleil. Pour faire l'expérience, on congèle d'abord le lait au moyen de l'acide acétique, à la température de 40 à 50 degrés ; on filtre ensuite, et l'on ajoute au liquide filtré quelques gouttes d'acétate de plomb, qui déterminent un précipité assez abondant. On obtient, par une nouvelle filtration, une liqueur parfaitement transparente et très-propre à ce genre de recherches. Le sérum étant ainsi préparé, on l'introduit dans un tube d'observation de 22 centimètres de longueur, et, après l'avoir fermé, on le place sur l'instrument pour obtenir le nombre de degrés indiquant la déviation que la lumière polarisée éprouve en traversant le liquide sucré. Si l'on a trouvé, je suppose, 28 degrés, il suffira de consulter la table que j'ai dressée à cet effet, pour avoir le poids du sucre contenu dans un litre de petit lait. On arrivera au même résultat à l'aide de la proportion suivante :

$$100 : 201,90 :: 28 : x; \quad x = 56,53,$$

c'est-à-dire que, dans cette supposition, 1000 grammes de petit-lait contiennent 56gr53 de sucre : 201,90 est la quantité de sucre de lait qui, dissoute dans l'eau distillée et portée au volume de 1000 centimètres cubes, produit une déviation de 100 degrés. D'après les recherches très-intéressantes de M. Clerget, cette déviation est déterminée par 164gr71 de sucre de canne.

» J'ai fait une table indiquant, depuis 1 jusqu'à 100 degrés, la quantité de sucre contenue dans un litre de petit-lait ; mais je ne donnerai ici que les chiffres réellement utiles. La première colonne comprend les degrés trouvés, et la seconde le poids du sucre.

Digitized by Google

DEGRÉS TROUVÉS.	QUANTITÉ de sucre dans un litre de petit lait	DEGRÉS TROUVÉS.	QUANTITÉ de sucre dans un litre de petit lait.	DEGRÉS TROUVÉS.	QUANTITÉ de sucre dans un litre de petit lait.
18	36gr 34	23	46gr 43	28	56gr 53
19	38 36	24	48 45	29	58 55
20	40 38	25	50 47	30	60 57
21	42 39	26	52 49	31	62 58
22	44 41	27	54 51	32	64 60

»Je dois rappeler que, d'après mes expériences, 1000 grammes de petit-lait renferment 57 grammes environ de sucre. Cette proportion correspond, d'après la table, à-peu-près à 28 degrés, mais il est nécessaire d'accorder une tolérance de 2 ou 3 degrés. Le lait vendu dans le commerce ne marque au saccharimètre que de 19 à 23 degrés. »

Pouvoir rotatoire des sucres renfermés dans le miel, par M. Soubeiran.

M. Soubeiran, en étudiant le miel à l'aide du saccharimètre, est arrivé à mieux préciser la nature des sucres que le miel contient; voici les conclusions de son travail :

« En résumé, les expériences contenues dans mon Mémoire établissent les faits suivants :

» Le miel se compose de trois sucres différents : l'un est le sucre en grain déjà connu,

» Un autre est le sucre liquide, qui se rapproche, par un grand nombre de caractères, du sucre de canne interverti par les acides; mais qui s'en distingue en ce qu'il ne se transforme jamais en sucre en grains, et en ce qu'il possède un pouvoir rotatoire vers la gauche beaucoup plus fort.

» Le pouvoir rotatoire absolu du sucre liquide du miel, à la température de + 13 degrés, pour le rayon rouge, et pour une longueur de 100 millimètres, a été trouvé égal à — 13,103, tandis que celui du sucre interverti dans les mêmes conditions a été trouvé égal seulement à — 18°,933.

Digitized by Google

» Le sucre liquide du miel conserve le pouvoir rotatoire vers la gauche, même après qu'il a été amené à l'état solide; il est du petit nombre des corps sur lesquels on a pu constater ce caractère.

» Le troisième sucre qui fait partie du miel se distingue du sucre en grains, en ce qu'il est intervertible par les acides, et du sucre liquide, en ce qu'il exerce sa rotation vers la droite. Sa proportion, qui est assez forte dans le miel encore liquide des ruches, diminue avec le temps, et peut même disparaître entièrement dans le miel solidifié. »

Propriétés optiques de l'acide camphorique, par M. BOUCHARDAT.

L'acide camphorique et ses nombreux dérivés agissent sur la lumière polarisée. — De l'acide camphorique fut dissous dans de l'alcohol; la solution, examinée dans un tube de 299 millimètres, exerçait une déviation de + 12° à droite.

Il était important de constater l'influence des alcalis sur le pouvoir moléculaire rotatoire de l'acide camphorique. Cette dissolution fut saturée par 1/24 de son volume de soude caustique; la déviation diminua, elle ne fut plus que de 70.

Ces expériences furent recommencées à la température de + 11 degrés avec des dissolutions dosées.

Autant qu'on peut le déduire d'une seule observation, le pouvoir moléculaire rotatoire de l'acide camphorique est de + 38,875.

Ce pouvoir décroît notablement par la saturation à l'aide d'un alcali. Il se rétablit par l'addition d'un excès d'un acide fort.

M. Biot a fait remarquer que le fait annoncé ici par M. Bouchardat offre deux sortes d'intérêts : premièrement, il a été découvert par une induction raisonnée, ce qui est déjà satisfaisant comme résultat scientifique; secondement, il fournira une série d'études chimiques très-fécondes. En effet, nous n'avons pendant longtemps connu qu'un seul acide doué du pouvoir rotatoire : c'était l'acide tartrique; mais la variabilité singulière que l'on observe dans les dispersions qu'il produit sur les plans de polarisation des rayons lumineux rendait difficile de l'employer, avec une suffisante simplicité, à des recherches de mécanique chimique. M. Bouchardat avait, à la vérité, reconnu que l'acide amygdalique exerce un pouvoir rotatoire de même sens

Digitized by Google

qu'elle; mais le haut prix de ce produit était un grand obstacle aux applications qu'on en pouvait faire. Enfin, les deux acides à pouvoir rotatoire opposé, que M. Pasteur a obtenus en dédoublant l'acide paratartrique, n'ont été isolés jusqu'ici qu'en quantités très-petites, et seulement suffisantes pour constater leur existence individuelle, ainsi que leurs propriétés caractéristiques. L'acide camphorique, ajouté à cette liste, se prêtera mieux à toutes les études que l'on désirerait. Les acides camphovinique et camphométhylique, auxquels il donne naissance, étendront encore ce champ d'applications. Ses combinaisons avec les alcalis végétaux, auxquels M. Bouchardat a reconnu des pouvoirs rotatoires de même sens ou de sens contraire, fourniront des combinaisons neutres ou actives, dont on pourra suivre à l'œil toutes les modifications dans l'état de liquidité. Ses solutions dans l'acide acétique et l'alcohol, étudiées comparativement à celles du camphre, dans les mêmes milieux, offriront des rapprochements curieux entre l'action optique du radical neutre, et de ce même radical suroxydé. Enfin, en suivant une analogie qui n'aurait rien de trop invraisemblable, ne serait-il pas possible que l'acide tartrique, partiellement désoxydé, conduisît à découvrir aussi un radical organique neutre, qui lui donnerait naissance, et qui posséderait un pouvoir rotatoire propre dont le sien serait dérivé.

Sur quelques phénomènes rotatoires et quelques propriétés des sucres, par M. DUBRUNFAUT.

« M. Mitscherlich a constaté le premier l'influence qu'exerce la température sur le pouvoir rotatoire du sucre interverti. En introduisant des sirops chauds, dont un thermomètre indiquait la température, M. Dubrunfaut a constaté que l'influence de la chaleur peut être telle que le sens de la rotation pouvait en être interverti de gauche à droite.

» Les dissolutions de sucre de canne, de sucre de fruits, de glucose, de dextrine, et le cristal de roche perpendiculaire à l'axe, sont, parmi les substances que M. Dubrunfaut a examinées, celles qui subissent dans leurs propriétés rotatoires des changements variables avec la température.

Digitized by Google

» Le sucre de canne n'éprouve qu'un abaissement de 0,04 dans son pouvoir rotatoire pris de 18,7 de température, en le chauffant à 80 degrés. En corrigeant ce nombre à l'aide des coefficients de la dilatation du laiton (matière du tube) et du sirop, on trouve que le pouvoir rotatoire du sucre de canne, pour une transition de 100 degrés de température, de 0 à 100°, ne serait abaissé qu'à 0,0232 du pouvoir rotatoire pris à 0, ce qui ne représente qu'une quantité très-petite par rapport à l'effet analogue que subit le sucre interverti. Le pouvoir rotatoire du sucre de canne est affaibli dans sa combinaison avec les alcalis, il l'est plus par la chaux que par la potasse. Ce fait est utile à connaître pour l'essai optique des sucres de betteraves du commerce, qui contiennent parfois des saccharates alcalins.

» Le glucose en dissolution n'a pas donné d'altération sensible dans son pouvoir rotatoire entre 18 et 80 degrés de température. L'immobilité du plan de polarisation dans cette circonstance n'est qu'apparente, car, si l'on exécute les corrections de dilatation du tube et du sirop, on trouve que, pour une variation de 100 degrés de température de 0 à 100 degrés, la rotation a marché vers la droite de 0,0462 du pouvoir rotatoire pris de 0. Le glucose bien épuré possède le même pouvoir rotatoire, quelle que soit son origine. C'est ce qu'on a pu constater sur du sucre de raisin, sur du glucose de fécules et sur des glucoses de diabètes, de miel et de sucre interverti, préparés par M. Soubeiran. Il est à remarquer que le pouvoir rotatoire du glucose est fort affaibli dans sa combinaison avec la chaux; il n'en est pas de même de sa combinaison avec le sel marin, où ce pouvoir est conservé dans toute son intégrité.

» Le sucre interverti pouvant se transformer en glucose, et, dans ce cas, le sens de la rotation étant reporté à droite, il sera utile de tenir compte de ce fait dans l'application des procédés d'analyse optique des sucres, pour ne pas se tromper en fixant le nombre quantitatif du sucre de canne.

» Les propriétés suivantes sont à ajouter à celles qui sont déjà connues pour caractériser le glucose et le distinguer du sucre liquide, avec lequel il possède plusieurs propriétés communes.

» Si l'on dissout rapidement dans l'eau, à une température de 12 à 15 degrés, le sucre $G^{12}H^{28}O^{14}$, et qu'on observe de suite son action

Digitized by Google

sur un faisceau polarisé, on trouve qu'il possède un pouvoir rotatoire presque double de celui qui a été assigné par M. Biot à cette substance. Si l'on chauffe le tube, on voit le plan de polarisation tourner rapidement vers le 0, pour se fixer définitivement au pouvoir du glucose dissous, qui diffère peu du nombre donné par M. Biot. Cet effet se produit aussi à la température ordinaire, mais il faut alors plusieurs heures pour qu'il soit complet.

» A la température ordinaire, la rotation rétrograde du glucose dissous est très-sensible pendant les premiers temps de l'expérience. Il est donc impossible d'assigner maintenant la valeur numérique absolue de cet effet, car on ne sait pas ce qui se produit pendant le temps de la dissolution, qui, elle-même, est accompagnée d'un abaissement de température : cependant, dans les conditions les plus favorables où l'on a pu l'observer, ce pouvoir, que l'on peut appeler pouvoir rotatoire du glucose cristallisé, est égal à 66/33 du pouvoir rotatoire du même sucre dissous à chaud.

» En dissolvant dans un même volume d'eau des quantités de sucre de canne, de sucre interverti et de glucose, de manière à donner à cette eau une même saveur sucrée, on peut conclure les rapports des puissances saccharines des sucres. C'est ainsi que M. Dubrunfaut a trouvé qu'en représentant par l'unité la valeur du glucose pur, celle du sucre interverti est représentée par 1,5, et celle du sucre de canne par 2. Ces changements sont produits dans une même substance par des réactions que la polarisation permet de suivre et de mesurer avec l'œil, à l'exclusion d'autres procédés chimiques plus complexes.

» La dextrine perd aussi de son pouvoir rotatoire par l'élévation de température : cette altération égale les 7 centièmes du pouvoir rotatoire à la température ordinaire.

» Deux plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, de rotations contraires, et se compensant parfaitement, ont donné chacune, à 20 degrés de température, 108 degrés de déviation inverse, en les mesurant avec l'appareil de M. Biot *sur la teinte de passage*, ce qui, suivant les formules de ce savant, correspond avec une épaisseur de 4^{mm}, 538. En les chauffant au bain-marie dans un appareil spécial, M. Dubrunfaut a obtenu 109° 5 à une température de 90 degrés, soit une élévation du pouvoir rotatoire de 1° 50 pour 70 degrés du

Digitized by Google

thermomètre centigrade. Il a rendu cette propriété bien palpable en chauffant les plaques avec une lampe à alcohol, après les avoir placées dans une direction perpendiculaire à un faisceau de lumière polarisée. La rotation due à l'élévation de température a été, en effet, dans ce cas, de 12 degrés environ ; les plaques avaient été chauffées avec *ménagement* et sans qu'on les fît rougir. »

M. Clerget, de son côté, avait reconnu et publié avant M. Dubrunfaut que la déviation après l'inversion décroît proportionnellement à l'accroissement de température pour une dissolution donnée. C'est, du reste, à l'acidulation par l'acide chlorhydrique, dont l'emploi lui paraît préférable à tout autre, que se rapportent les nombreuses observations qui lui ont fait connaître cette loi entre les limites de + 10 à + 25 degrés centigrades.

Il a constaté de plus que, pour une même température, le coefficient de l'inversion obtenue par une méthode constante augmente un peu avec le titre saccharin de la dissolution ; mais il existe dans les limites de titre appropriées aux analyses une formule approximative qui représente, avec une exactitude suffisante, cette dernière variation, et complète les éléments de construction des tables de M. Clerget.

Nous ne quitterons pas le saccharimètre et ses nombreuses applications sans faire remarquer l'avantage immense qu'ont sur les analyses chimiques les déterminations qualitatives et quantitatives faites par des observations physiques. La supériorité est si évidente que dans quelques années on ne demandera plus à la chimie une seule analyse de substance alimentaire ou commerciale. L'alcoholomètre de M. l'abbé Vidal, et l'alphitoscope de M. Donny, suffisent déjà pleinement à l'examen des boissons alcoholiques et des farines; le saccharimètre analysera bientôt complétement la bière, le lait, le miel, ainsi qu'il analyse les différentes sortes de sucre, etc., etc. Comme exemple de cet heureux progrès nous insérerons ici la description générale de la méthode optique par laquelle le si savant et si ingénieux physicien de Munich compare si rapidement et si efficacement toutes sortes de bières. Cette méthode est inconnue en France, et elle y recevra un perfectionnement considérable, car le saccharimètre donnera immédiatement la quantité de sucre que le *bier-probe* donne indirectement.

Digitized by Google

Épreuve optique. — Appareil d'épreuve de la bière,
par M. STEINHEIL, de Munich.

De même que le pain du boulanger doit être d'un certain poids, ainsi un litre de bière doit contenir légalement une certaine quantité de malt. Il n'en résulte pas que toute bière qui contiendra cette quantité de malt sera de bonne bière; elle n'acquerra cette qualité qu'après le jugement d'une commission de connaisseurs. L'examen qualitatif de la bière est réservé aux dégustateurs; mais la détermination quantitative des substances qui entrent dans cette boisson appartient aux chimistes ou aux physiciens, et elle laisse beaucoup à désirer, puisque la science n'a pas encore indiqué une méthode simple et sûre pour décider si les prescriptions de la loi ont été observées ou non. Les aréomètres, qui donnent le poids spécifique des liquides pour une certaine température, ne sont point applicables à l'épreuve de la bière, parce que toutes les sortes de bières contiennent en même temps du sucre et de l'alcohol. Le poids spécifique du sucre est plus grand, le poids spécifique de l'alcohol est plus petit que celui de l'eau. On conçoit donc qu'on puisse introduire dans la bière une quantité quelconque de ces substances, sans que son poids spécifique cesse d'être égal au poids spécifique de l'eau. Il suffit pour cela d'employer autant de sucre qu'il est nécessaire pour compenser la légèreté relative de l'alcohol. L'aréomètre donnerait donc simplement le rapport des quantités de sucre et d'alcohol employées, mais non leurs quantités absolues. Ce rapport du sucre et de l'alcohol varie d'une sorte de bière à l'autre, et, par conséquent, l'aréomètre ne suffit pas à déterminer les quantités de sucre et d'alcohol produites par le malt introduit dans la fabrication.

Cette absence d'un moyen suffisamment sûr et simple d'arriver à la connaissance de la quantité de malt contenue dans la bière se faisait depuis longtemps vivement sentir, et le gouvernement bavarois exprima dans plusieurs occasions le désir de voir remplir enfin cette lacune. Sur sa demande, M. Fuchs, conseiller aulique, découvrit l'épreuve halimètrique de la bière. Sous le rapport de l'exactitude, cette méthode rend tous les services qu'on devait en attendre. Comparée aux procédés connus et employés dans l'analyse quantitative de la bière,

Digitized by Google

elle est beaucoup plus simple, et demande moins de temps : elle exige cependant un expérimentateur exercé, de nombreux appareils et un temps considérable (au moins deux heures) ; sous ce rapport elle laisse trop à désirer.

Ces inconvénients amenèrent M. Steinheil à chercher une autre solution de ce difficile problème, à se demander si l'on ne pourrait pas arriver par des observations physiques simples, faciles et à la portée de tous, à ramener l'examen de la bière à la lecture des chiffres d'une table toute faite. Le succès a prouvé la possibilité de cette tentative. Le mémoire du savant physicien : *De l'analyse quantitative par des observations physiques*, imprimé dans le 3e volume, partie III, des *Mémoires de l'Académie de Munich*, en fournit la preuve.

Jusqu'à présent l'aréométrie ne donnait que les rapports quantitatifs d'un mélange de deux substances, de sucre et d'eau, par exemple, d'alcohol et d'eau, d'acide sulfurique et d'eau, etc., etc. Mais quand une troisième substance entrait dans la solution, il fallait, avant tout, en séparer une chimiquement, pour arriver à déterminer les quantités relatives des substances renfermées dans la solution ternaire. Or, M. Steinheil a trouvé le moyen de déterminer ces quantités relatives sans analyse chimique. Ce moyen consiste dans l'observation d'une seconde propriété physique, qui se manifeste à différents degrés dans les diverses substances qu'il s'agit de séparer. Supposons que le poids spécifique soit l'une de ces propriétés physiques, et que la réfraction de la lumière soit l'autre : de même que toutes les substances diffèrent sous le rapport du poids spécifique, elles diffèrent aussi dans leur pouvoir réfringent. Ces propriétés physiques se conservent dans le mélange, et il en résulte qu'en observant directement le poids spécifique et le pouvoir réfringent du mélange, on pourra retrouver par le calcul la quantité des substances qui le composent. Quand il s'agit de déterminer les poids relatifs de deux substances solubles dans l'eau, on a affaire à deux inconnues ; mais l'observation des deux propriétés physiques donne deux équations qui suffisent au calcul des inconnues, quand les autres coefficients des équations sont donnés. Ces coefficients s'obtiennent par l'examen de mélanges dont on connaît d'avance la composition. En se donnant un nombre suffisant de mélanges dosés des trois substances, et mesurant, tour à tour pour chacun de ces mélanges, le poids spéci-

Digitized by Google

fique et l'indice de réfraction, on forme des tables qui, une fois construites, donneront à leur tour les quantités relatives des substances composantes, quand on aura observé les propriétés physiques du mélange. Revenons à l'examen des différentes sortes de bière dont il faille déterminer le contenu en sucre et en alcohol. On conçoit facilement qu'on puisse former, pour ce genre de mélanges, une table qui donne, en parties du mélange, les quantités relatives de sucre et d'alcohol, correspondantes aux propriétés physiques observées de la bière, son poids spécifique et son pouvoir réfringent. De cette manière, l'évaluation du contenu en sucre et en alcohol se ramène à l'observation de ces deux propriétés physiques. Il ne reste plus par conséquent, pour résoudre complétement le problème, que de rendre les observations tellement faciles, que toute personne qui sait lire une échelle puisse les faire sans fatigue. Le poids spécifique s'obtient facilement à l'aide de l'aréomètre en verre. Il ne reste donc qu'à construire un instrument qui permette d'observer avec la même facilité la réfraction de la lumière dans les différents fluides. Cet instrument a été inventé par M. Steinheil, qui lui a donné le nom de quantitomètre, *gehalt messer*. Il en a donné la description dans un mémoire spécial, imprimé en 1842, sous le titre : *Quantitomètre de M. Steinheil*, et son emploi dans l'épreuve de la bière. Nous ne donnerons ici que la description générale de l'instrument. C'est un vase cylindrique, divisé par 3 verres plans en deux prismes liquides, dont les angles de réfraction sont égaux et placés en sens opposés. Un de ces prismes est rempli d'eau distillée, et l'on verse dans l'autre la bière qu'il s'agit d'examiner. A travers ces prismes, remplis de liquide, on regarde un fil métallique en s'aidant d'un microscope. Ce fil métallique sert à l'orientation des fils croisés qui se trouvent dans l'oculaire du microscope. Le changement de position du fil métallique s'opère au moyen d'une vis micromètrique, dont la tête porte une circonférence divisée. On tourne la vis jusqu'à ce que l'image du fil métallique apparaisse partagée en deux par la croix des fils de l'oculaire. Le chiffre indiqué par l'aiguille fixée sur le cadran divisé donne immédiatement, en unités optiques, la quantité de malt contenu dans la bière. Mais comme la réfraction de la lumière dans une solution de sucre est, à poids égal, deux fois et un quart plus forte que la solution d'alcohol, le chiffre donné par l'instrument

Digitized by Google

devient plus grand à mesure que la quantité primitive de sucre, qui, dans le progrès de la fermentation, s'est transformée en alcohol et en acide carbonique, est plus petite. Pour retrouver la quantité du sucre de malt transformé, il faut encore, comme nous l'avons déjà indiqué, la donnée de l'aréomètre, dont l'échelle a été divisée en parties proportionnelles, d'après les poids du sucre exprimés en centièmes.

Ainsi donc, pour évaluer les quantités de sucre et d'alcohol contenus dans la bière, on verse la bière dans l'appareil-épreuve; on note la division indiquée par l'aiguille, puis on plonge l'aréomètre dans la bière, et l'on voit jusqu'à quelle division elle descend. Avec ces deux données, la table construite par M. Steinheil donne immédiatement le rapport en poids du sucre et de l'alcohol que la bière renferme. Si maintenant l'on remarque que l'alcohol se forme aux dépens du sucre qui, pendant la fermentation, se transforme moitié en alcohol, moitié en acide carbonique, on trouvera la quantité de sucre de malt contenue primitivement dans la bière, c'est-à-dire dans le mélange des substances avant la fermentation. En ajoutant le double de la quantité d'alcohol mis en évidence par l'observation à la quantité de sucre actuellement présent, on pourra donc faire de cette manière la comparaison des différentes sortes de bière, sous le rapport de la quantité de malt employé dans leur préparation, conformément aux prescriptions de la loi.

Mais dans les circonstances ordinaires une analyse aussi complète n'est pas nécessaire; s'il s'agit, par exemple, de constater l'addition d'une certaine quantité d'eau à des bières connues, l'épreuve optique suffit. Cette application est celle qui intéresse le plus le public, parce qu'elle rend très-facile la surveillance à exercer sur les marchands de bière, pour s'assurer s'ils donnent la bière comme ils l'ont reçue des brasseurs. Que cette surveillance des débitants de bière soit effectivement nécessaire, cela résulte des recherches faites chez les marchands, dont presque tous versent de 4 à 20 litres d'eau dans chaque mètre cube de bière. Cette fraude illégitime, qui retombe principalement sur les pauvres, pour lesquels la bière forme une partie essentielle de leur nourriture, peut facilement être combattue et rendue impossible par l'emploi de l'épreuve très-sûre que nous venons de décrire.

Digitized by Google

Sur la rotation du plan de polarisation par l'action des fluides, *note* de M. BOTZENHART.

M. Botzenhart a indiqué récemment un moyen d'augmenter *la rotation* du plan de polarisation produite par l'action d'un fluide, et de rendre ainsi plus facile l'observation de ce phénomène qui, par ses proportions minimes, échappait jusqu'à présent à des recherches plus exactes.

Ce moyen est fondé sur le principe d'optique suivant, démontré théoriquement par Fresnel, et expérimentalement par M. Brewster. Quand un rayon linéairement polarisé, dont le plan de polarisation forme un angle avec le plan d'incidence, passe par un milieu simplement réfringent, limité par des surfaces parallèles, le plan de polarisation du rayon réfracté fait avec le plan d'incidence un angle plus grand que celui formé par le rayon incident.

Si donc on fait passer un rayon linéairement polarisé d'abord à travers une substance qui ne produit qu'une faible rotation du plan de polarisation, puis à travers un système de lames de verre à surfaces parallèles, placées convenablement, et qu'on examine le rayon émergent, on arrivera à pouvoir observer et à mesurer la rotation du plan de polarisation produite initialement par la substance dont il s'agit et augmentée secondairement par l'action des lames de verre, dans une foule de cas où sans l'emploi du système de lames le phénomène aurait complétement échappé à l'observation.

Pour donner une idée de l'influence du système de lames de verre, nous insérerons et la formule employée par M. Botzenhart et quelques résultats de ses calculs; soit φ l'angle du plan de polarisation du rayon réfracté sur le plan d'incidence, a le même angle pour le rayon incident, i l'angle d'incidence, r l'angle de réfraction, et m le nombre des lames, les angles φ et a seront liés par la formule suivante :

$$\tang \varphi = \frac{\tang a}{\cos^2 m\,(i-r)}.$$

En admettant que l'indice de réfraction du verre soit égal à 1, 5 et que l'on ait $a = 30'$, $i = 70°$.

Digitized by Google

On aura pour φ les valeurs suivantes :

2 lames.	4 lames.	8 lames.
$\varphi = 0° 56' 4''$	$1° 44' 46''$	$6° 4' 40''$;

et si $a = 15'$, $i = 70°$,

4 lames.	8 lames.
$\varphi = 0° 52' 24''$	$3° 2' 50''$.

Sur la relation qui peut exister entre la forme cristalline et la composition chimique, et sur la cause de la polarisation rotatoire, par M. L. PASTEUR.

« Si l'on compare les formes cristallines de tous les tartrates quels qu'ils soient, y compris les émétiques, on s'apercevra que dans toutes ces formes, plusieurs facettes se retrouvent inclinées entre elles de la même manière. En plaçant toutes ces formes les unes auprès des autres, on aura une série de prismes diversement modifiés aux extrémités et sur les arêtes des pans. Mais ces dernières modifications relatives aux arêtes des pans se répéteront les mêmes dans tous les prismes, inclinées respectivement de la même manière, ou à très-peu près. Les formes pourront appartenir à des systèmes différents, et à côté du prisme rhomboïdal on pourra trouver le prisme rectangulaire droit ou oblique, ou même le prisme tout à fait oblique du dernier système cristallin ; mais néanmoins les angles des pans ou ceux des facettes de modification différeront très-peu les uns des autres.

» Quand deux formes ne seront pas du même système, l'une sera pour l'autre une forme-limite. On fait ici abstraction des extrémités seules des prismes ; et, en effet, c'est par l'extrémité seule des prismes que diffèrent les formes cristallines de tous les tartrates. La composition chimique a beau varier, ces relations ne cessent pas d'avoir lieu, et on les retrouve dans les sels neutres comparés entre eux, avec les sels acides et avec les sels doubles, et, enfin, avec les émétiques.

» Dès lors, il est impossible de douter qu'un certain groupe moléculaire reste constant dans tous ces sels ; que l'eau de cristallisation et les bases, reléguées aux extrémités de ce groupe, le modifient à ces extrémités seulement, ne touchant qu'à peine, et dans la me-

Digitized by Google

sure de la différence des angles observés entre les facettes, à l'arrangement moléculaire central. Dans cette appréciation, on ne fait que confirmer ici cette opinion que tous les chimistes énonceraient, savoir : qu'entre tous les sels d'un même acide, il y a quelque chose de commun. Ces faits cependant nous montrent en outre l'étroite relation qui existe entre la forme cristalline et la constitution moléculaire, et le jour que l'on peut jeter, par les études cristallographiques, sur l'arrangement des atomes.

» Laissons de côté, pour un instant, les tartrates, et comparons de même les formes cristallines de tous les paratartrates. On trouvera qu'elles présentent entre elles quelque chose de commun, et, ce qui surprendra au premier abord, à cause de l'isomérie bien connue de ces sels, leur relation est absolument la même que dans les tartrates. Toutes les formes ne diffèrent que par les extrémités des prismes qui leur correspondent ; mais, de plus, les angles des pans et leurs modifications sont à peu près les mêmes que dans les tartrates, de telle sorte qu'il existe un groupe moléculaire commun à tous les paratartrates, et que ce groupe est le même que dans les tartrates.

» Cette conclusion, déduite d'études cristallographiques, est en désaccord avec les observations chimiques. L'isomérie de ces deux genres de sels n'est pas douteuse, c'est-à-dire que l'arrangement moléculaire de l'acide paratartrique diffère de l'arrangement moléculaire de l'acide tartrique, et qu'il en est de même de leurs sels. Si les extrémités du groupe moléculaire commun aux tartrates et aux paratartrates n'étaient pas modifiées de la même manière par l'introduction de nouveaux éléments dans les tartrates et les paratartrates, on concevrait encore très-bien l'isomérie de ces sels. Or, c'est ce qui a lieu en général. Si l'on considère tous les tartrates, les extrémités seules des formes seront différentes : mais que l'on considère un tartrate en particulier, et l'on verra bientôt, sans qu'il existe ombre de doute à cet égard, que, dans ce tartrate, les deux extrémités du prisme sont dissymétriques.

» La loi du célèbre Haüy, qui veut que les parties identiques soient modifiées de la même manière, est violée. En un mot, tous les tartrates sont hémiédriques. Ainsi le groupe moléculaire commun à tous ces sels, et que l'introduction de l'eau de cristallisation et des oxydes vient modifier aux extrémités, ne reçoit pas à ces deux extrémités

Digitized by Google

les mêmes éléments, ou du moins ils y sont distribués d'une manière dissymétrique. Au contraire, dans la pluralité des paratartrates que M. Pasteur a examinés, il n'a rien observé qui annonçât l'hémiédrie de ces sels.

» Nous venons de dire que dans la plupart, et non dans tous les paratartrates, M. Pasteur n'a pas rencontré de cristaux hémièdres. En effet, il est un de ces sels qui est hémiédrique, et c'est ici que nous allons toucher au doigt en quelque sorte la véritable cause de la polarisation rotatoire. Chacun sait, en effet, depuis les belles et nombreuses recherches de M. Biot, que beaucoup de substances organiques jouissent de la propriété singulière de dévier à l'état de dissolution le plan de la polarisation des rayons lumineux. Chacun sait aussi qu'une des différences capitales entre les tartrates et les paratartrates consiste en ce que l'acide tartrique et les tartrates dévient le plan de polarisation, tandis que l'acide paratartrique et ses sels ne le devient pas. Il existe même une observation bien curieuse de M. Mitscherlich relative à cette différence des deux espèces de sels. Comme la note où cette observation est consignée est très-courte, nous allons la reproduire ici telle qu'il l'a adressée à l'Académie, en 1844, par l'intermédiaire de M. Biot.

« Le paratartrate et le tartrate doubles de soude et d'ammoniaque ont la même composition chimique, la même forme cristalline avec les mêmes angles, le même poids spécifique, la même double réfraction, et, par conséquent, les mêmes angles entre les axes optiques. Dissous dans l'eau, leur réfraction est la même : mais le tartrate dissous tourne le plan de la lumière polarisée, et le paratartrate est indifférent, comme M. Biot l'a trouvé pour toute la série de ces deux genres de sels. Mais ici la nature et le nombre des atomes, leur arrangement et leurs distances sont les mêmes dans les deux corps comparés. »

» Telle est l'observation de M. Mitscherlich. Pour ce qui concerne l'inaction du paratartrate sur la lumière polarisée, M. Biot a répété l'expérience du savant chimiste de Berlin sur un échantillon de ce paratartratre que lui avait remis M. Mitscherlich.

» Eh bien! par le plus grand des hasards, M. Mitscherlich a été induit en erreur, et M. Biot à son tour. Le paratartrate de soude et d'ammoniaque dévie le plan de la polarisation ; seulement, parmi les

Digitized by Google

cristaux provenant d'un même échantillon, il en est qui dévient le plan de polarisation à gauche, d'autres à droite, et quand il y en a autant d'une espèce que de l'autre, la solution est inactive : les deux déviations contraires se compensent. Voici maintenant la différence cristallographique de ces deux espèces de cristaux. Ils sont tous hémiédriques; mais il y en a qui sont hémiédriques à droite, d'autres à gauche, et la déviation dépend, pour le sens, de cette dissymétrie. Quand on veut une déviation à droite, on choisit les cristaux hémièdres à gauche ; quand on veut une déviation à gauche, on choisit les cristaux hémièdres à droite. S'il arrive souvent qu'on n'a pas de déviation, c'est que l'on prend des cristaux mêlés, sans faire aucun choix. N'est-il pas évident maintenant que la propriété que possèdent certaines molécules de dévier le plan de polarisation a pour cause immédiate, ou du moins est liée de la manière la plus étroite à la dissymétrie de ces molécules ? car voici, en résumé, les faits principaux.

» L'acide tartrique et les tartrates dévient le plan de polarisation ; ils sont tous hémièdres ; ils dévient tous à droite, et sont aussi tous hémièdres dans le même sens. Les paratartrates ne dévient pas, ils ne sont pas hémièdres. L'un d'eux dévie, il est alors hémièdre. Il dévie tantôt à droite, tantôt à gauche ; c'est qu'il est hémièdre, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre.

» On dira, et avec juste raison : toutes les substances organiques qui dévient le plan de polarisation, lorsqu'elles sont dissoutes, jouissent donc de l'hémiédrie. M. Pasteur aurait beaucoup désiré ne présenter ce travail à l'Académie qu'après avoir examiné les bases organiques, le camphre et d'autres substances. Mais ici on rencontre de grandes difficultés pour la recherche de l'hémiédrie. La beauté des cristaux des tartrates, leur grosseur, servent considérablement. Cependant M. Pasteur a pu facilement étudier le sucre candi, et il annonce que cette substance est hémiédrique, et jouit à un haut degré de la pyro-électricité polaire ; c'est même par l'étude de cette dernière propriété qu'il a été assuré de l'hémiédrie, dont il s'est rendu compte ensuite par l'observation attentive de la forme cristalline. Postérieurement, il a été trouvé que cette détermination avait été déjà faite il y a longtemps par le docteur Hankel. »

Digitized by Google

Sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition chimique et le sens de la polarisation rotatoire. Second Mémoire de M. PASTEUR.

En poursuivant ses recherches sur la relation de la forme cristalline avec la composition chimique et le sens de la polarisation rotatoire, M. Pasteur est arrivé à des résultats nouveaux.

L'acide paratartrique ou racémique est bien réellement formé de deux acides distincts, déviant, l'un à droite, l'autre à gauche, le plan de la lumière polarisée, et tous deux de la même quantité absolue. Ces deux acides cristallisent très-facilement dans des liqueurs concentrées; leurs formes cristallines sont identiques dans toutes leurs parties respectives; seulement elles sont hémiédriques et représentent deux polyèdres symétriques non superposables. M. Pasteur propose d'appeler *acide lévoracémique* l'acide qui dévie à gauche, *acide dextroracémique* l'acide qui dévie à droite le plan de polarisation des rayons lumineux.

L'acide dextroracémique est l'acide tartrique ordinaire, et les dextroracémates ne sont autre chose que les tartrates hémièdres à droite.

Les lévoracémates examinés jusqu'ici sont identiques, par leurs formes cristallines, avec les tartrates ou dextroracémates correspondants; seulement ils sont hémièdres à gauche.

L'acide lévoracémique, mis en présence de l'acide dextroracémique ou tartrique, donne immédiatement l'acide racémique cristallisé ordinaire.

Les racémates sont, pour la plupart, formés d'acide racémique combiné aux diverses bases.

Le pouvoir rotatoire des lévoracémates et des dextroracémates, ou tartrates, est rigoureusement le même en quantité absolue.

M. Pasteur se réserve de donner plus tard le détail des analyses, des formes cristallines et de l'étude de la pyro-électricité de ces nombreux sels, si remarquables par les étroites relations de leurs formes et de leurs propriétés physiques et chimiques.

Il se borne, cette fois, à communiquer un résultat qui lui semble offrir beaucoup d'intérêt. Il a trouvé le double caractère hémié-

Digitized by Google

drique dans un autre sel organique, le formiate de strontiane. Ce se cristallise en prismes droits à base rhombe, portant des facettes hémiédriques sur les arêtes des bases, et qui conduisent à deux tétraèdres identiques, mais inverses. Que la double déviation du plan de polarisation des rayons lumineux corresponde ou ne corresponde pas au double caractère hémiédrique, ce que M. Pasteur n'a pas pu encore constater à cause de la petite quantité de matière dont il pouvait disposer, il est important de noter que, ce double caractère se retrouvant ici dans un autre sel organique, il est extrêmement probable qu'on l'observera dans beaucoup d'autres cas.

Recherches sur les propriétés spécifiques des deux acides qui composent l'acide racémique, par M. L. PASTEUR.

Grâce à l'obligeance avec laquelle M. Kestner, l'auteur de la découverte de l'acide racémique, a bien voulu mettre à sa disposition une quantité notable de cet acide, M. Pasteur a pu achever l'étude complète des deux acides et des sels auxquels ils donnent naissance. Il attache d'autant plus de prix à l'obligeance de M. Kestner, que ce singulier acide racémique ne se produit plus. Non-seulement M. Kestner n'en obtient pas trace dans sa fabrication depuis l'époque de sa découverte, mais il a fait des essais variés pour le reproduire, et il n'y est point parvenu. C'est donc une fois seulement, sans doute par une circonstance particulière de la fabrication, que cet acide a pris naissance. Les raisins des Vosges n'en renferment pas plus que ceux des autres contrées.

L'acide tartrique et les tartrates sont hémiédriques, c'est à-dire ont une forme cristalline qui, pour les modifications, déroge à la loi de symétrie d'Haüy. Mais, de plus, l'acide lévoracémique et les lévoracémates ont les mêmes formes cristallines que l'acide tartrique et les tartrates, seulement la dissymétrie est à gauche au lieu d'être à droite. L'acide tartrique et les tartrates dévient à droite le plan de polarisation de la lumière. L'acide lévoracémique et les lévoracémates le dévient à gauche, de la même quantité absolue. Ils suivent les mêmes lois de disposition. A part ces deux faits, la dissymétrie de la forme et le sens inverse de la polarisation rotatoire, il a été impossible de trouver la plus légère différence entre l'acide tartrique et

Digitized by Google

l'acide lévoracémique, entre les tartrates et les lévoracémates ; mêmes angles de faces, même aspect physique, même double réfraction. Toutes les propriétés chimiques sont aussi les mêmes. Que l'on prépare, à l'aide de l'acide tartrique, un tartrate quelconque, sel neutre, sel acide, sel double, émétique, en opérant de même avec l'acide lévoracémique, on obtiendra un lévoracémate qu'il sera impossible de distinguer du tartrate, si ce n'est par le sens du pouvoir rotatoire, et par ce fait que sa forme cristalline, quoique identique à celle du tartrate dans toutes ses parties respectives, ne pourra lui être superposée.

C'est dans les singularités nombreuses offertes par l'acide tartrique que M. Pasteur pensait reconnaître entre ces deux acides quelque différence. Ainsi, l'une des propriétés les plus curieuses assurément de l'acide tartrique est son pouvoir spécial de dispersion sur les plans de polarisation des divers rayons simples, étudié avec tant de détails par M. Biot. Eh bien ! M. Pasteur l'a retrouvé sans aucune modification dans l'acide lévoracémique ; il a formé des solutions d'acide lévoracémique de même dosage que certaines solutions tartriques étudiées par M. Biot, et il a obtenu les mêmes teintes pour les divers azimuts, la même direction des rayons rouges, la même déviation pour la teinte de passage

La proportion d'eau dans les solutions tartriques, l'élévation ou l'abaissement de température ont une influence très-sensible sur le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique. Cette influence est la même pour l'acide lévoracémique.

Il est encore une observation curieuse et qui montre d'une manière frappante cette corrélation étroite des propriétés des deux acides. Tous les tartrates dissous dans l'eau dévient à droite le plan de polarisation des rayons lumineux. Le tartrate de chaux jouit, au contraire, de la propriété singulière de le dévier à gauche quand il est dissous dans l'acide chlorhydrique. On pouvait présumer que le lévoracémate de chaux dissous dans cet acide dévierait à droite. C'est précisément ce qui arrive. Ainsi, à part la dissymétrie de la forme, droite dans un cas, gauche dans l'autre, et à part le sens opposé du pouvoir rotatoire, on n'a pas pu trouver la moindre différence entre l'acide tartrique et l'acide lévoracémique, entre les tartrates et les lévoracémates.

Digitized by Google

Dans l'étude de la corrélation de l'hémiédrie avec le phénomène de la polarisation rotatoire, il est nécessaire de distinguer deux espèces d'hémiédrie, et M. Pasteur appelle sur ce point d'une manière spéciale l'attention des physiciens et des géomètres. Il y a une hémiédrie, que l'on pourrait appeler *hémiédrie superposable*, dont la boracite, le spath d'Islande, l'azotate de soude, etc., nous offrent des exemples. La boracite cristallise en cubes portant quatre facettes sur les angles, qui conduisent à un tétraèdre régulier. Le spath d'Islande, l'azotate de soude cristallisent en rhomboèdre dérivant du prisme hexagonal. Ce sont là des substances hémiédriques; mais il faut noter que tous les tétraèdres réguliers sont superposables, que tous les rhomboèdres de même angle le sont également. On ne peut pas construire par la pensée un rhomboèdre identique avec celui du spath d'Islande, et qui ne lui soit pas superposable. On ne peut pas imaginer un cube passant à un tétraèdre régulier non superposable à celui de la boracite. Il faut en dire autant d'une substance qui cristalliserait en tétraèdre du système du prisme droit à base carrée.

Il y a un deuxième genre d'hémiédrie dont l'acide tartrique et les tartrates offrent des exemples. Toutes ces substances sont hémiédriques, mais à chacune de leurs formes cristallines en correspond une autre identique dans toutes ses parties respectives, et qu'on ne peut cependant lui superposer. Et non-seulement ces formes, qui ressembleraient aux premières comme la main gauche ressemble à la main droite, sont possibles: elles existent réellement. Ce sont les formes cristallines de l'acide lévoracémique et des lévoracémates. Comme autre exemple de ce deuxième genre d'hémiédrie, que l'on pourrait appeler *hémiédrie non superposable*, on peut citer les deux variétés plagièdres du cristal de roche. Elles représentent deux polyèdres symétriques non superposables, et il y a entre elles la relation que l'on trouve entre la forme cristalline d'un tartrate et celle du lévoracémate correspondant.

Là où il y a hémiédrie superposable, la propriété rotatoire n'existe pas, et elle existe, au contraire, dans les cas où il y a hémiédrie non superposable. En est-il toujours ainsi? C'est à l'expérience de répondre.

Digitized by Google

Recherches sur divers modes de groupement dans le sulfate de potasse, par M. L. PASTEUR.

La forme primitive du sulfate de potasse, quelquefois dominante dans les cristaux, est celle du prisme rhomboïdal droit dont l'angle des pans est peu éloigné de 120 degrés ; celle des formes que l'on rencontre le plus ordinairement dans cette substance est un dodécaèdre à triangles isocèles très-voisin du dodécaèdre régulier offert par le prisme hexagonal. En modifiant tangentiellement l'arête du prisme rhomboïdal qui répond à l'angle voisin de 60 degrés, on a un prisme hexagonal presque régulier qui, par une modification des arêtes des bases, fournit le dodécaèdre en question.

M. Laurent avait remis à M. Pasteur de beaux cristaux de sulfate de potasse, dont plusieurs offraient la base de la forme primitive ainsi qu'une double bordure dodécaédrique. La mesure des angles indiquait, par une différence qui ne dépassait pas cependant vingt minutes, que ce double dodécaèdre appartenait bien au prisme rhomboïdal. Néanmoins, la régularité d'un de ces cristaux était telle que M. Pasteur désira se convaincre autrement que cette forme n'appartenait pas au système hexagonal régulier. Il tailla, à cet effet, une lame à faces parallèles, perpendiculairement à l'axe principal du cristal, et il fut tout étonné lorsque, plaçant cette lame dans l'appareil de polarisation de Noremberg, il vit une étoile à six branches, de teintes et de couleurs diverses, embrassant chacune le même angle au centre. Il était prouvé, dès lors, que le cristal, si régulier en apparence, était formé de parties diverses groupées ensemble d'après une certaine loi de symétrie. Il étudia ce phénomène plus en détail, et s'assura bientôt que, parmi les cristaux de sulfate de potasse que l'on rencontre dans le commerce, il est extrêmement difficile de trouver un cristal qui soit homogène. Tous sont le résultat de groupements divers. Les teintes colorées qui se développent lorsqu'on reçoit sur un analyseur la lumière émanée de la lame, et qui la frappe normalement après avoir été polarisée, mettent le mode de groupement en évidence de la manière la plus nette.

L'angle au centre des diverses parties groupées est toujours voisin de 60 et de 90 degrés, et l'un des multiples de 60, 120 et 180 de-

Digitized by Google

grés, et comme chacun de ces angles peut s'associer aux autres, pourvu que la somme fasse 360 degrés, on conçoit qu'il y a une foule de groupements possibles qui se réalisent en effet.

OPTIQUE MINÉRALOGIQUE.

Nous avons déjà analysé plusieurs mémoires qu'il aurait été plus convenable peut-être de réserver pour cette partie de notre répertoire. Tels sont le Mémoire de M. Haidinger, sur le chatoiement des faces des cristaux ; les Mémoires de M. Pasteur, sur les rapports de la forme minéralogique avec les propriétés optiques des substances cristallines, etc., etc. ; mais il nous a semblé qu'il valait mieux rapprocher certains travaux qui s'éclairent mutuellement, que de s'astreindre à un ordre par trop méthodique. Entrons en matière.

Nous débutons par une note très-curieuse de sir David Brewster, note qui aurait dû précéder les belles recherches de M. Haidinger sur le chatoiement, mais qui sera ici plus en évidence, et rappellera mieux que cette fois encore l'initiative de la découverte d'un ordre entier de phénomènes nouveaux appartient au chef illustre de l'école d'Édimbourg, observateur infatigable, toujours en avant du progrès expérimental.

Ainsi que nous l'avons déjà remarqué, sir David Brewster, émissioniste endurci, ne peut pas faire une observation nouvelle sans en conclure pour la lumière une nouvelle propriété, un nouveau mode de polarisation : c'est le côté faible du grand physicien !

CHATOIEMENT DES FACES CRISTALLINES.

Nouvelle propriété de la lumière manifestée par l'action du chrysammate de potasse sur la lumière ordinaire ou polarisée, par sir D. Brewster.

Le chrysammate de potasse, qui cristallise en tablettes très-menues, plates et rhombiques, a un éclat métallique d'or, d'où lui vient

Digitized by Google

son nom de liqueur d'or. Lorsque la lumière solaire est transmise à travers ces plaques rhombes, elle prend une couleur jaune-rougeâtre et est entièrement polarisée suivant un plan. Quand on presse les cristaux avec la lame d'un couteau sur une plaque de verre, on peut les y étendre comme un amalgame : la lumière transmise à travers les pellicules les plus minces ainsi produites se compose de deux faisceaux polarisés à angle droit, l'un rouge carmin brillant, et l'autre jaune-pâle. Avec les pellicules plus épaisses, les deux faisceaux se rapprochent pour former deux autres faisceaux rouge-carmin, brillants et égaux.

La lumière ordinaire, réfléchie sous l'incidence perpendiculaire à la surface des cristaux ou des pellicules, a la couleur de l'or vierge. Elle devient de moins en moins jaune à mesure que l'incidence augmente jusqu'au moment où elle passe au blanc-bleuâtre pâle sous les plus fortes incidences. Le pinceau composé ainsi réfléchi et coloré consiste en deux autres polarisés, l'un dans le plan de réflexion et de couleur blanche-bleuâtre pâle sous toutes les incidences, l'autre perpendiculairement à ce plan, d'une couleur jaune d'or sous de faibles incidences, et passant successivement au jaune-verdâtre, au bleu-verdâtre, au bleu, au cramoisi léger, à mesure que l'angle d'incidence augmente. C'est là une propriété remarquable que M. Brewster a également découverte dans quelques autres cristaux et qui n'est ni causée par une pellicule quelconque d'oxyde métallique à la surface naturelle du cristal, ni le résultat d'un changement produit à la surface par des causes extérieures. Elle se présente avec les modifications ordinaires, si la surface du chrysammate est en contact optique avec des liquides et avec le verre, lorsque le cristal est en état de dissolution ou lorsqu'une nouvelle surface est découverte par des moyens mécaniques ; dans tous ces cas, l'action superficielle du cristal sur la lumière est la même. Lorsque le chrysammate cristallise de nouveau dans une dissolution aqueuse, il apparaît en groupes prismatiques de couleur rouge brillant, la réflexion jaune d'or étant dominée par la lumière transmise ; mais lorsque ces groupes sont aplatis en pellicules par la pression, le jaune d'or reparaît.

L'acide chrysammique découvert par M. Schenck se forme quand on fait bouillir de l'acide azotique sur l'aloès ; il est le dernier produit de cette réaction. Quoique plastique au point de pouvoir être

Digitized by Google

aisément moulé en plaques minces, il est si faiblement soluble, qu'il exige plus de 1500 fois son poids d'eau pour se dissoudre.

Cette note donna lieu à une courte discussion.

MM. Whewell, Herschel, Powel, avaient indirectement au moins critiqué le titre du Mémoire de sir D. Brewster ; ils ne voulaient voir dans le fait observé qu'un cas nouveau de l'action des corps sur la lumière : sir David Brewster maintient son énoncé. Ce n'est au fond qu'une dispute de mots.

« Lors de la lecture de mon Mémoire sur une nouvelle propriété de la lumière, M. Whewell a fait remarquer que c'était là plutôt une action curieuse du chrysammate de potasse qu'une propriété nouvelle de la lumière, et sir John Herschel a paru pencher vers cette opinion. Mais il ne peut y avoir de doute, ainsi que l'indique le titre de mon Mémoire, que ce ne soit *une action du chrysammate de potasse*, et encore moins que ce ne soit une propriété de la lumière, qui en outre est nouvelle. Presque toutes les propriétés de la lumière, sa réfrangibilité, sa réflexion, sa polarisation et sa double réfraction, se manifestent toutes par l'action des corps sur la lumière. Si c'est une propriété de la lumière d'être polarisée dans un plan par l'action des surfaces des corps transparents ordinaires, c'est également une propriété de la lumière, et une des plus remarquables, que la *lumière blanche soit décomposée et séparée en deux faisceaux différemment colorés et polarisés dans deux plans opposés*. Si c'est une propriété de la lumière que, lorsqu'elle est réfléchie à la surface du spath calcaire, elle est influencée par la force interne de la double réfraction, sans changer de couleur et sans être séparée en deux faisceaux, c'est une propriété plus remarquable encore, *qu'une substance doublement réfringente, comme le chrysammate de potasse, décompose et double en même temps le faisceau.* Presque toutes les propriétés des corps sont développées par l'action d'autres corps; et si cela était nécessaire, je pourrais démontrer que les expressions dont je me suis servi dans le titre de mon Mémoire sont sanctionnées par les physiciens les plus distingués. »

Note sur le chatoiement métallique de l'hypersthène, par W. Haidinger.

« L'acquisition d'un échantillon remarquable d'hypersthène de La-

Digitized by Google

brador, par le musée impérial et royal, m'a donné l'occasion d'examiner ce cristal sous le rapport du pléochroïsme.

Concevons que les nuances colorées soient orientées d'après un prisme à quatre pans et rectangulaires, et appelons P la surface extrême, M la large surface latérale chatoyante, T la troisième surface perpendiculaire aux deux précédentes. Désignons par 1 l'image inférieure extraordinaire de la loupe dichroscopique, quand on regarde à travers M et T; par 2, l'image supérieure ordinaire, en regardant à travers M; par 3, l'image supérieure ordinaire, en regardant à travers la surface T. On obtient alors :

1. Axe principal	Gris un peu verdâtre.	Nuance	la plus foncée.
2. Axe transversal	Rouge-hyacinthe, plus rougeâtre.		moyenne.
3. Normale	Brun-œillet, plus jaunâtre.		la plus claire.

Les teintes rouges et grises forment un grand contraste. Le phénomène surprenant des couleurs rouges de la lumière transmise m'engageait à examiner le chatoiement rouge dans la lumière réfléchie au moyen de la loupe dichroscopique. Dans la position longitudinale des cristaux, l'image supérieure ordinaire paraît rougeâtre avec éclat, tandis que l'image inférieure extraordinaire est grise sans éclat. Mais dans la position transversale, l'image supérieure est d'un éclat très-vif qui fait disparaître la teinte grise, tandis que l'image inférieure est rougeâtre.

Les nuances rouges sont polarisées dans la direction de l'axe, les nuances grises perpendiculairement à cette direction.

Sur les rapports du chatoiement superficiel orienté avec l'absorption de la lumière dans les cristaux colorés, par M. W. HAIDINGER.

M. Babinet, en examinant plusieurs cristaux colorés qui absorbent la lumière en proportions inégales, est arrivé à la loi suivante :

1. Dans les cristaux négatifs, c'est-à-dire dans les cristaux où l'indice de réfraction du rayon ordinaire est plus grand que celui du rayon extraordinaire, le premier rayon est plus absorbé que le second.

2. Dans les cristaux positifs, c'est-à-dire dans les cristaux où l'indice de réfraction du rayon ordinaire est plus petit que celui

Digitized by Google

du rayon extraordinaire, le dernier rayon est plus absorbé que le premier.

En un mot, le rayon plus réfracté est aussi plus absorbé que le rayon moins réfracté.

Comme exemple on pourrait citer la tourmaline. Si on place l'axe verticalement, et qu'on regarde le cristal à travers la loupe dichroscopique, l'image supérieure O est toujours plus sombre que l'inférieure E. Dans le quartz, au contraire, l'image inférieure E est plus sombre que l'image supérieure O : la tourmaline est un cristal négatif, le quartz un cristal positif. Néanmoins il existe plusieurs espèces de cristaux qui ne suivent pas cette loi, comme, par exemple, l'apatite, le béril, l'apophyllite, etc., etc. Il est à désirer que l'on fasse de nouvelles recherches, afin de trouver la véritable cause de cette exception.

En prenant pour base de comparaison la loi mentionnée de M. Babinet, M. Haidinger a fait sur le chatoiement de quelques cristaux les observations suivantes :

1. *Chrysolépinate de potasse.*

Cette substance cristallise sous forme de prismes quadrangulaires très-alongés, d'une couleur brune foncée, et peu transparents. Dans la position verticale des prismes, l'image supérieure O de la loupe dichroscopique donne une teinte brun-rougeâtre plus foncée que celle de l'image inférieure E, qui est brun-jaunâtre. Le rayon ordinaire est plus absorbé que le rayon extraordinaire. Donc, suivant la loi de M. Babinet, ces cristaux seraient négatifs en supposant les axes optiques parallèles aux axes de cristallisation. L'éclat est faible. On observe un chatoiement superficiel orienté de couleur bleu-azur foncée, et polarisé dans la direction de l'axe principal. Dans la position longitudinale, l'image supérieure O a un éclat blanc très-vif, presque sans bleu, tandis que l'image inférieure se montre sans aucun éclat. Dans la position transversale, l'image supérieure montre le même éclat blanc, mais l'image inférieure est d'un beau bleu-azur.

2. *Aloëtinate de potasse.*

Cette substance forme des prismes rhombiques de couleur brun-

Digitized by Google

claire et d'une transparence parfaite. Dans la loupe dichroscopique, cette couleur se partage en une teinte jaune de miel dans l'image supérieure O, et en une teinte jaune de vin dans l'image inférieure E. Dans les cristaux encore moins épais, O est d'un brun-rougâtre, E d'un jaune-citron. D'après la loi de M. Babinet, et en supposant les axes optiques parallèles aux axes de cristallisation, ces cristaux seraient négatifs.

L'éclat est très-vif et semblable à celui du diamant. Le chatoiement superficiel est d'une teinte bleu-azur foncée, et il est polarisé dans la direction de l'axe principal. Les observations sont identiques à celles qui viennent d'être faites sur les cristaux précédents.

En étendant une petite quantité de ces deux espèces de cristaux sur une plaque de verre dépoli, la lumière réfléchie sur cette couche cristalline se compose de lumière blanche et de lumière bleue, toutes les deux polarisées dans toutes les directions, mais la première dans le plan d'incidence, la seconde perpendiculairement à ce plan, de sorte que sous tous les azimuts le champ supérieur O de la loupe dichroscopique est blanc, le champ inférieur E bleu-azur. La couleur bleue du chrysolépinate de potasse, qui est d'une couleur plus foncée, est plus vive que celle de l'aloëtinate de potasse.

Dans ces deux espèces le rayon ordinaire est plus absorbé que le rayon extraordinaire; elles appartiennent donc, d'après la loi de M. Babinet, aux cristaux négatifs. Or, dans ces deux espèces aussi, le chatoiement superficiel est polarisé *dans la direction de l'axe principal.*

En comparant l'intensité et l'état de polarisation de la lumière transmise A avec l'intensité de la lumière réfléchie B, l'on arrive au résultat suivant :

A. O égal en intensité au rayon extraordinaire, *moins* la portion disparue par l'absorption plus forte; E égal en intensité au rayon extraordinaire.

B. O égal à la moitié de l'intensité de la lumière réfléchie en général, *plus* le bleu-azur réfléchi du chatoiement superficiel orienté; E égal à la moitié de l'intensité de la lumière réfléchie.

La direction du rayon lumineux est supposée perpendiculaire aux surfaces des cristaux.

Digitized by Google

On voit que, tandis qu'une portion de la lumière ordinairement polarisée manque au rayon transmis plus absorbé, une portion de lumière également ordinairement polarisée, et qui a déjà pénétré plus avant dans le cristal que la lumière réfléchie à la surface, se trouve réfléchie.

3. *Krokonate d'oxyde de cuivre.*

La forme cristalline de cette substance rappelle celle de certains cristaux de spath pesant ou d'anglésite, sulfate de plomb.

La lumière réfléchie dans toutes les directions à la surface des cristaux offre un éclat demi-métallique bleuâtre très-vif. Les feuilles minces transparentes sont d'une teinte brun-jaunâtre claire, ou orangé-brunâtre.

En examinant avec la loupe dichroscopique la large surface diagonale rhombique de ces cristaux, l'image supérieure O paraît plus claire que l'image inférieure E; toutes les deux sont d'une teinte brun-orangée, semblable à celle de la brookite. Le caractère des axes optiques est donc positif, c'est-à-dire opposé à celui des axes des cristaux précédents.

Cette fois le chatoiement superficiel bleu-azur occupe une position opposée; il est polarisé, non dans la direction de l'axe principal, mais perpendiculairement à cette direction. Dans la position longitudinale, l'image supérieure est blanche, l'image inférieure d'un beau bleu-azur; dans la position transversale, l'image supérieure manifeste un éclat blanc-bleuâtre très-brillant, semblable aux reflets du diamant, tandis que l'image inférieure est sans éclat.

Ces observations confirment la loi déjà énoncée, savoir, que *la direction de polarisation du chatoiement superficiel orienté coïncide avec la direction de polarisation du rayon plus absorbé des cristaux à double réfraction.*

Les cristaux précédents sont tous d'une couleur jaune, quelquefois très-foncée et presque brune. Les nuances complémentaires sont par conséquent bleues, et le phénomène par rapport aux couleurs est aussi simple que possible. Dans la suite de ses recherches, M. Haidinger a retrouvé d'autres combinaisons de couleurs qui comprennent le spectre tout entier; et, quoique l'on puisse dire qu'en général la nuance du chatoiement superficiel soit complémentaire de la

Digitized by Google

couleur de la lumière transmise, il croit devoir différer encore d'énoncer cette proposition générale.

Sur le pléochroïsme des cristaux, par M. HAIDINGER.

Dans l'origine on se servait exclusivement de l'expression *dichroïsme*, pour désigner le phénomène de deux couleurs différentes, observées dans diverses directions sur un cristal parfaitement homogène. Quoique ces deux couleurs principales soient liées entre elles par des teintes intermédiaires, on a conservé l'expression de dichroïsme pour les cristaux à un axe optique. Perpendiculairement à l'axe, la tourmaline est de couleur verte ou brune; parallèlement à cet axe, elle est presque opaque, et toujours plus foncée que dans la première direction. La cordiérite nommée dichroïte, en raison de ce phénomène, est encore très souvent décrite comme présentant deux couleurs, quoique déjà sir John Herschel ait distingué trois couleurs différentes dans trois directions perpendiculaires les unes aux autres. Mais, lorsque plus tard M. Soret et d'autres savants eurent observé dans la topase et d'autres espèces une différence triple entre les teintes du cristal, observées suivant ses trois axes perpendiculaires les uns aux autres, cette propriété nouvelle reçut le nom de trichroïsme. M. Beudant les comprend tous les deux sous le nom de polychroïsme. Si l'on taille les cristaux qui présentent les phénomènes en question sous forme de sphère, on observe à côté des teintes pures ou des teintes-limites toutes les teintes intermédiaires. Ces cristaux présentent donc, sinon beaucoup de couleurs, au moins plusieurs couleurs, et parce qu'il fallait un nouveau mot pour exprimer des propriétés nouvelles, M. Haidinger a choisi le mot *pléochroïsme*, qui comprend comme cas particulier le dichroïsme et le trichroïsme.

Mode d'observation. — Il est des cristaux, comme la tourmaline, la cordiérite et d'autres, qui déjà dans la lumière ordinaire manifestent dans diverses directions des couleurs différentes.

Observé dans la lumière polarisée, le phénomène est plus saillant. Si l'on regarde à travers un même ensemble de surfaces parallèles, on remarque, suivant la position du plan de polarisation, deux couleurs différentes. M. Brewster dit, dans son Mémoire sur la lumière polarisée, Philos. Trans. 1819, que, dans ses expériences, il plaçait le cristal ou parallèlement, ou perpendiculairement au plan de polari-

Digitized by Google

sation du rayon réfléchi par une glace. MM. Soret, Arago et Biot, se servaient d'une ouverture pratiquée dans un fond sombre, devant laquelle ils plaçaient le cristal, et ils l'examinaient à travers un prisme achromatisé de spath d'Islande.

Il est un appareil très-simple et facile à manier, qui devrait se trouver entre les mains de tous les minéralogistes : c'est la *loupe dichroscopique*. Elle est formée essentiellement, comme on l'a vu plus haut, d'un spath doublement réfringent, mince, oblong, muni à chacune de ses deux extrémités d'un prisme de verre de 18°, et combiné avec une loupe ordinaire. Une petite ouverture lumineuse circulaire ou quadrangulaire vue à travers cette loupe apparaît doublée.

Les houppes lumineuses de polarisation que l'on retrouve en observant attentivement et comparativement les deux images indiquent la direction des plans de polarisation, et permettent facilement de s'orienter.

Dans le rayon ordinaire O, la houppe jaune se montre dans le plan qui contient les deux rayons : dans le rayon extraordinaire E, elle est perpendiculaire à ce plan, en supposant que la position de l'axe principal soit restée la même. Grâce au contraste, on observe de cette manière beaucoup plus sûrement qu'avec les procédés ordinaires. M. Baden Powell a joint un appareil semblable à l'appareil de polarisation dont il se sert pour étudier la rotation du plan de polarisation par l'action des fluides.

Quand on se sert de prismes achromatisés de spath calcaire, les images sont divergentes, tandis qu'ici elles sont toujours très-rapprochées l'une de l'autre, ce qui rend leur comparaison plus exacte.

Dichroïsme des cristaux à un axe.

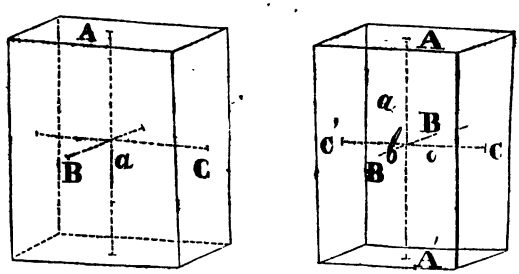
En examinant, au moyen de cette loupe, un cristal de tourmaline dont l'axe est vertical, on observe une image supérieure noire, et une image inférieure beaucoup plus claire que la lumière transmise à travers le cristal naturel.

Quand on regarde dans la direction de l'axe ou perpendiculairement à la face extrême, l'image supérieure et l'image inférieure sont de la même teinte noire. On peut considérer cette teinte A comme *couleur de la base* ou de la face extrême. La loupe dichroscopique

Digitized by Google

la montre composée de deux images égales O et E, qui dans chaque direction se ressemblent ou se font équilibre. La couleur des faces B du prisme se compose d'un rayon ordinaire O de la couleur de la base et d'un rayon extraordinaire E de la couleur des faces latérales. On peut l'appeler la *couleur de l'axe*. Elle s'observe dans le champ inférieur de la loupe dichroscopique, à chaque rotation du cristal autour de l'axe vertical. Ces mêmes apparences relatives s'observent dans tous les cristaux rhomboédriques et pyramidaux à un axe. Pour les comparer aux phénomènes que présentent les cristaux prismatiques, nous nous représentons un prisme quadratique pyramidal, fig. 1. dont la base serait de la couleur A, ses faces latérales de la cou-

Fig. 1. *Fig. 2*



leur B et son axe de la couleur *a*. En croisant deux lames de tourmaline, il est évident que l'image E de la première, devenue l'image O par l'effet de la rotation de 90°, sera absorbée par la seconde lame.

La liste suivante, donnée par M. Haidinger, renferme un extrait des observations faites sur la plupart des cristaux reconnus dichromatiques :

L'indication de la couleur de la base est donnée par l'image supérieure O, celle de la couleur de l'axe par l'image inférieure E du dichroscope.

A. Cristaux rhomboédriques.

1. *A un axe optique négatif.*

Apatite de Cabo de Gata. O, couleur de la base, jaune de vin; E, couleur de l'axe, vert asperge. Spath calcaire de Saint-Denis; O, jaune de miel rougeâtre; E, jaune de vin pâle.

Digitized by Google

Mica du Vésuve. O, vert d'ail foncé; E, rouge-hyacinthe.

Saphir de Ceylan bleu de canard pâle. O, bleu de canard dans du bleu-indigo; E, vert-olive pâle.

Saphir de Ceylan rouge cramoisi. O, rouge cramoisi; E, rouge-rose pâle.

Emeraude du Pérou. O, vert-émeraude jaunâtre; E, vert-émeraude bleuâtre.

Tourmaline de Sibérie. O, rouge cramoisi; E, rouge-rose.

Tourmaline du Brésil. O, vert d'huile; E, blanc-verdâtre.

Tourmaline de l'île d'Elbe. O, vert-pistache; E, vert de gazon.

Tourmaline de la Bohême. O, vert-bleuâtre foncé; E, brun de cheveux clair.

2. *A un axe optique positif.*

Quartz, topaze enfumée d'un brun-œillet, de St-Gothard. O, brun-œillet très-pâle dans du bleu-violet pâle; E, brun-jaunâtre clair, plus foncé que le premier.

Dans la topaze enfumée l'on observe très-distinctement, à travers deux faces prismatiques opposées l'une à l'autre, les houppes lumineuses jaunes dans la direction de l'axe.

Améthyste bleu-violet de la Sibérie. O, bleu-violet; E, bleu-violet plus pâle.

Rothgiltigerz de Joachimsthal en cristaux très-minces. O, rouge-cochenille; E, rouge-sang. Ces deux dernières nuances diffèrent très-peu l'une de l'autre.

B. Cristaux pyramidaux.

1. *A un axe optique négatif.*

Mica-Urane, chalkolithe de Schlaggenwald. O, vert de gazon; E, vert-de-gris. Les deux nuances sont noyées dans le vert-émeraude et ont le même degré de transparence.

Idocrase du Piémont. O, vert-huile; E, vert de gazon. Les deux nuances se noient dans le vert-pistache, perpendiculairement à l'axe.

Dans ces deux espèces les contrastes des couleurs sont très-saillants: les variétés brunes ne manifestent aucun dichroïsme.

Anatase du Brésil. O, bleuâtre; E, jaunâtre. La couleur d'ensemble est comprise entre le brun-jaunâtre et le brun-œillet.

Digitized by Google

2. *A un axe optique positif.*

Apophyllite du Tyrol. O, blanc-bleuâtre ; E, blanc de lait.

Les beaux cristaux transparents de Fassathal ont souvent dans le milieu une tache jaune-isabelle; la couleur blanche s'approche en général un peu du vert-asperge. La teinte brunâtre est plus foncée que la teinte bleuâtre.

Zircon de Ceylan. P ∞ P, O, brun-œillet; E, vert-asperge. La couleur de l'ensemble est gris-perle bleuâtre.

Zircon de Ceylan, blanc-jaunâtre. O, bleu pâle; E, jaune pâle.

Les hyacinthes rouges P ∞ P', et les variétés brun-rougeâtres de Norwége et de Groënland, donnent des images de la même couleur toutes deux.

Rutil du St-Gothard. O, brun-jaunâtre riche; E, rouge-sang foncé.

Dans les cristaux très-petits et à surfaces bien polies de cette dernière espèce, la couleur rouge-sang est considérablement plus foncée que la brune.

Dans la lumière ordinaire, les cristaux rhomboédriques et pyramidaux présentent, suivant la direction de l'axe, la couleur de la base, et perpendiculairement à l'axe une nuance composée de la couleur de la base et de la couleur de l'axe.

Dans ses variations de couleur, le ciel bleu et serein agit comme un cristal à un axe dont l'axe passerait par le centre du soleil et de la terre. La couleur de la base est claire, celle de l'axe est sombre.

5. *Trichroïsme des cristaux à deux axes.*

A. Orthotypes.

Le système orthotype se rattache de très-près au système pyramidal le plus symétrique. Appelons A *la couleur de la base*, B *la couleur de la section tranversale*, par exemple, ∞ $\bar{D}$, C, *la couleur de la face longitudinale*, par exemple, ∞ $\breve{D}$.

A travers la loupe dichroscopique la couleur B, dans la position indiquée, se partage en deux autres, l'une O, que nous désignerons par *c*, l'autre E, que nous désignerons par *a* ; la couleur C se partage

Digitized by Google

à son tour en un O, désigné par *b*, et un E, qu'il faut encore désigner par *a*, car il coïncide parfaitement avec la teinte *a* observée sur la face B. — Si l'on place la face A verticalement, de sorte que B devienne horizontale, alors la couleur A se partage en un O de couleur *b*, et en un E de couleur *c*. Par *a* on désigne *la couleur de l'axe* qui est perpendiculaire à A; par *b*, *la couleur de la diagonale longitudinale* qui est perpendiculaire à B ; enfin, par *c*, *la couleur de la diagonale transversale* qui est perpendiculaire à C. Or A se compose de *b* et *c* ; B se compose de *a* et *c*, et C se compose de *a* et *b*. Tout corps pléochromatique orthotype montre donc au moins six teintes : trois couleurs de l'axe et trois couleurs des faces. Les modifications principales que présentent ces phénomènes seront mises en évidence dans les deux exemples suivants.

1. *La cordiérite.*

Le nom de dichroïte devient de plus en plus impropre à cause des six teintes multiples que l'on observe et qui se réduisent à trois couleurs principales perpendiculaires, au lieu de deux.

Les observations suivantes se rapportent à un cube taillé, de deux lignes de dimension, de la variété la plus pâle.

La couleur A est d'un beau bleu ; la couleur B d'un gris pâle bleuâtre ou d'un bleu pâle ; C est encore plus pâle ; A moins bleuâtre que B. C'est cette dernière couleur qui paraît souvent jaunâtre, même assez foncée et toujours très-transparente.

La couleur de l'axe *a* est gris-jaunâtre ou blanc-jaunâtre pâle, celle de la diagonale longitudinale *b* est gris-bleuâtre pur, ou blanche-bleuâtre pâle. La couleur de la diagonale transversale C est d'un beau bleu de Prusse pur foncé. A est un mélange de *b* et *c*, gris bleuâtre et bleu foncé ; B est un mélange de *a* et *c*, gris-jaunâtre et bleu foncé ; enfin C est un mélange de *a* et *b*, jaunâtre et gris-bleuâtre.

L'effet de la teinte gris-jaunâtre *a*, qui efface presque complétement le bleu foncé très-intense *c*, est très-frappant, ainsi que le beau contraste formé par les deux images de la loupe dichroscopique.

Dans beaucoup de variétés de la cordiérite, le mélange d'un brun

Digitized by Google

clair avec le beau bleu foncé ne produit jamais le vert, mais seulement une teinte brunâtre plus claire.

Si on tourne le cristal autour de la droite AA′, fig. 3, comme axe vertical, le champ inférieur E du dichroscope paraît toujours teint de la couleur gris-jaunâtre *a*, tandis que le champ supérieur O est tantôt d'un bleu foncé, tantôt d'un gris-bleuâtre ou d'un bleu clair. En le tournant autour de la droite BB′ comme axe vertical, l'image inférieure E présente toujours la teinte gris-bleuâtre *b*, tandis que O est tantôt d'une teinte gris-jaunâtre, tantôt d'un bleu foncé. Enfin, si on tourne le cristal autour de la droite CC′ toujours comme axe vertical, alors l'image inférieure E conserve la belle teinte bleue foncée *c*, et l'image supérieure O présente tantôt une teinte jaunâtre, tantôt une teinte gris-bleuâtre.

Fig. 3

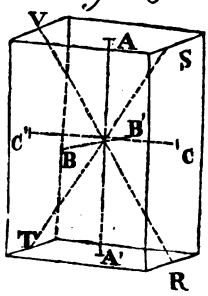
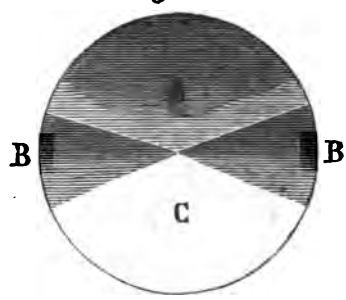


Fig 4



Le bleu foncé en A est perpendiculaire à la ligne moyenne optique qui partage l'angle des axes, qui est de 62° 50′. Le plan des axes passe par l'axe AA′ et la diagonale CC′. Les axes S T et R V, fig. 2, sont accompagnés de secteurs bleus foncés, Les houppes sont claires et se perdent d'une part dans le bleu foncé, d'autre part, dans le gris-jaunâtre, comme ils se produisent lorsqu'on regarde une sphère dans la direction des axes.

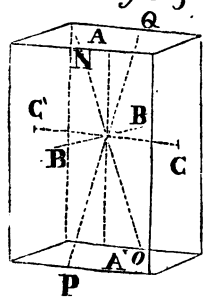
2. *L'andalousite.*

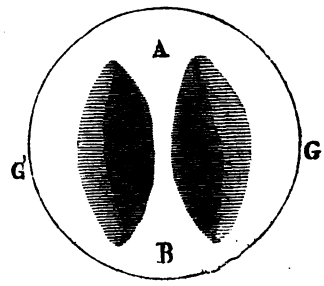
Les phénomènes de l'andalousite diffèrent un peu des précédents. Les couleurs des faces sont : fig. 5, A, vert d'huile, tendant au vert-olive ; B, vert d'huile ; C, vert-olive beaucoup plus pâle que B, pres-

Digitized by Google

que gris-verdâtre. Les couleurs des axes sont : *a*, rouge-sang foncé ; *b*, vert-olive ; *c*, vert-d'huile. L'andalousite absorbe complétement le rayon rouge. A est donc composé de *b* et de *c*, et ces deux couleurs sont faciles à séparer par le dichroscope. Mais B est égal à *c*, sans mélange de *a*, et C égal à *b*, de même sans mélange de *a*. Les deux couleurs sont vertes sans rouge. Des lames minces seules laissent passer le rouge à côté du vert. Deux lames minces rougeâtres que l'on superpose parallèlement l'une à l'autre sont vertes. En les croisant elles apparaissent naturellement rouges, parce que le croisement des plans principaux donne au rayon vert transmis le caractère de polarisation opposée.

La couleur rouge de l'axe *a* est celle du rayon extraordinaire. L'absorption augmente en raison inverse de la clarté des teintes. Le vert-olive est la teinte la plus forte, le vert d'huile la moyenne, enfin le rouge foncé est la teinte la plus faible.





Les axes optiques ont la position des lignes N O et P Q, fig. 4. L'on observe sur une sphère d'andalousite, fig. 6, des houppes claires de couleur vert d'huile divergentes dans les deux sens dans la direction N O entre A et B, et accompagnées des deux côtés vers C, C' d'espaces rouges à forme hyperbolique. La ligne BB' est la ligne moyenne, l'angle N M C, qui est partagé par elle en parties égales, est de 87° 33'. Si l'on fait faire à la sphère une révolution entière, l'on observe quatre systèmes de houppes ou de secteurs, qui indiquent la position des axes optiques. La ligne CC' est l'axe optique transversal.

M. Haidinger donne ensuite la liste des minéraux orthotypes qui

Digitized by Google

manifestent une partition de couleurs analogue à celles que nous venons de décrire, sans présenter toutefois d'aussi grands contrastes.

Ces minéraux présentent toutes les couleurs superficielles mixtes que l'on observe dans la dichroïte, tandis que l'andalousite reste jusqu'à présent seule de son espèce.

Les principaux minéraux observés par M. Haidinger sont : l'anhydrite, la baryte, la célestine, le diaspore, la topaze, la chrysolithe, enfin la brookite.

Le lazulith de Werfen présente aussi deux nuances bleues différentes : l'une bleu de cobalt, l'autre bleu de ciel foncé.

B. Augitiques.

La répartition des couleurs a lieu, comme dans les cristaux orthotypes, suivant trois directions perpendiculaires les unes aux autres. Ces directions coïncident en partie avec l'axe principal augitique, avec l'axe transversal augitique, enfin avec la perpendiculaire à ces deux axes, que nous appellerons la normale ; on ne peut observer en particulier que la composition autour de l'axe transversal, car les autres directions axiales ne se laissent pas aussi facilement déterminer par rapport à la forme du cristal.

Les minéraux sur lesquels M. Haidinger a observé cette répartition des couleurs sont les suivants : Sel de cobalt, Vivianite, fleur de cobalt, rothbleierz (mine de plomb rouge), mica, augite, amphibole, épidote, withamite, puschkinite, euklase, sphène.

Le sel de cobalt donne les teintes suivantes : couleurs des faces ; A de la base, vert d'huile ; B de la surface transversale, bleu-violet ; C de la surface longitudinale, bleu-violet dans le brun-œillet. Couleurs des axes ; *a* de l'axe, bleu violet foncé ; *b* de la normale, vert d'huile ; *c* de l'axe transversal, brun-œillet.

Epidote : couleur de la base A vert-pistache sombre, face transversale B bleu-violet ; face longitudinale C bleu-violet, tendant au brun-œillet ; couleur de l'axe *a* bleu-violet foncé, normale *b* vert d'huile, *c* axe transversal brun-œillet.

Les teintes des faces de l'euklase sont toutes d'un vert de montagne clair. La couleur de l'axe *a* est blanche, celle de la normale *b*,

Digitized by Google

vert-montagne jaunâtre, enfin celle de l'axe transversal *c*, vert-montagne bleuâtre.

Sur le sphène de Zillerthal on observe les teintes suivantes. Couleurs des faces : A de la base, vert d'huile ; B de la face transversale, vert d'huile, tendant au vert-pistache ; C de la face longitudinale, vert d'huile. Couleurs des axes : *a* de l'axe, vert d'huile ; *b* de la normale, rouge-hyacinthe ; *c* de l'axe transversal, vert-pistache.

C. Anorthiques.

Parmi les cristaux qui appartiennent à cette classe, l'axinite seul est assez exactement connu. Il offre les couleurs suivantes :

Couleurs de la base : gris-perle, tendant au brun-œillet pâle ; face transversale, vert-olive pâle, tendant au jaune de vin ; face longitudinale, brun-cannelle.

Couleur de l'axe, bleu-violet foncé ; de la normale, brun-cannelle ; de l'axe transversal, vert-olive pâle ou jaune-vin.

Comme dans l'andalousite, la teinte la plus foncée est, comparativement aux teintes plus fortes et plus claires, plus complétement absorbée, de telle sorte que dans la lumière ordinaire, cette couleur ne se manifeste que sous la forme d'espaces sombres qui accompagnent les houppes lumineuses axiales.

Les faces des cristaux de cyanite, tenues dans une position perpendiculaire, en prenant la face large pour face longitudinale, donnent dans la loupe dichroscopique une image supérieure de couleur bleu-cobalt claire. En tournant le cristal de manière à ce que la face large soit la face transversale, les couleurs se partagent non perpendiculairement, mais suivant une ligne inclinée, comme dans la Vivianite et la Fleur de cobalt, en une image supérieure d'un bleu-cobalt, et une image inférieure d'un bleu-cobalt plus foncé : ce dernier bleu est plus clair que le bleu de Prusse. L'examen plus détaillé de cette espèce promet des résultats intéressants. Les écailles minces, presque opaques, de la babingthonite, à laquelle ressemble aussi l'hedenbergite, sont d'un vert-noirâtre dans la direction perpendiculaire à la face de clivage que l'on distingue nettement, et d'un brun-rougeâtre foncé dans la direction de cette face ; les autres teintes n'ont pas encore été examinées.

Digitized by Google

6. *Conclusions.*

Dans les cristaux à deux axes optiques, la répartition des nuances ou des couleurs dépend aussi bien de leur structure que dans les cristaux à un axe optique. Elle se fait suivant la direction des axes dits d'élasticité, qui sont perpendiculaires les uns aux autres. Dans les formes orthotypes, ces axes d'élasticité coïncident avec les axes cristallographiques ; dans les formes augitiques avec l'axe principal, l'axe transversal, et la normale perpendiculaire à ces deux axes. Dans les formes anorthiques un des axes d'élasticité coïncide avec l'axe principal, le second semble être perpendiculaire à la face longitudinale, le troisième perpendiculaire aux deux axes précédents. Comme dans les premières formes l'axe se distinguait de toutes les droites que l'on peut lui mener perpendiculairement; dans la dernière, à une révolution entière correspondent deux maxima et deux minima.

Un cristal à un axe optique, placé verticalement devant l'ouverture lumineuse du dichroscope, donne une image ordinaire supérieure O et une image extraordinaire inférieure E ; les deux images sont teintes quelquefois de nuances différentes, et chacune conserve sa couleur quand on fait tourner le cristal autour de son axe. Souvent la couleur des deux images est la même.

Si on examine de la même manière un cristal à deux axes optiques, en donnant successivement à chacun des trois axes d'élasticité une position verticale, alors l'image extraordinaire conserve pendant la rotation sa couleur, tandis que l'image ordinaire change de teinte dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre. Ce phénomène des couleurs prouve à lui seul ce que Fresnel a trouvé pour la théorie de la double réfraction, savoir, que le rayon ordinaire n'existe pas dans les cristaux à deux axes. Mais en tournant le cristal, pendant que la position du dichroscope reste la même, par rapport à un axe horizontal placé transversalement, l'image ordinaire supérieure conserve sa couleur, tandis que le rayon extraordinaire, indiqué par les deux images inférieures de couleurs différentes, donne un maximum et un minimum. De plus, il arrive souvent que deux des trois couleurs ou même que les trois couleurs se ressemblent.

Quant à la production des phénomènes d'absorption, on observe

Digitized by Google

en même temps ou séparément deux différentes espèces d'action des cristaux sur la lumière. Dans les cas les plus simples, on n'observe qu'une diminution ou augmentation de la quantité de lumière, tandis que la couleur reste la même, comme, par exemple, dans le mica et dans le double spath transparent d'Islande. En regardant perpendiculairement à la surface d'un rhomboèdre un peu épais de spath d'Islande, l'image ordinaire supérieure des deux images d'un carré noir sur un fond blanc produit par la double réfraction des rayons lumineux paraît un peu moins faible. L'image supérieure est polarisée dans la direction de la section principale, l'image inférieure perpendiculairement à cette direction. En élevant un peu l'angle dièdre le plus rapproché de manière à ce que l'axe soit à peu près dans le plan du papier, la différence devient plus frappante. Le carré supérieur est d'une teinte plus gris-claire, le carré inférieur d'une teinte plus noire.

Si avant d'élever l'angle dièdre on fait tourner le rhomboèdre de 90° dans le plan du papier, de telle sorte qu'en élevant maintenant l'angle dièdre on le fasse tourner autour d'une diagonale courte, l'image ordinaire sera toujours plus forte, l'image extraordinaire toujours plus faible.

La cause de ces deux phénomènes d'absorption contraire, c'est que l'action du cristal, analogue à celle d'une lame ou glace de verre, se combine avec celle des images doublement polarisées, et donne plus de force à celle qui partage avec lui le même plan de polarisation.

Cette espèce d'absorption a lieu d'une manière uniforme pour le spectre entier. Mais si les couleurs se partagent en vert et bleu, comme dans quelques apatites ; en vert et rouge, comme dans le mica ; en bleu et vert, comme dans le saphir ; en blanc et bleu, comme dans le béril ; en bleu-foncé, bleu-clair et blanc-jaunâtre, comme dans la cordiérite ; en bleu-violet, gris-perle et jaune de vin, comme dans la baryte ; en vert d'huile, vert-olive, rouge-hyacinthe, comme dans l'andalousite ; en vert d'huile, vert-pistache et rouge-hyacinthe, comme dans le sphène ; en bleu-violet, brun-cannelle et jaune de vin, comme dans l'axinite, etc., etc., alors le phénomène diffère évidemment du précédent. Il n'y a qu'une partie du spectre absorbée, l'autre traverse le cristal sans obstacles.

Digitized by Google

Les deux couleurs qui apparaissent dans les cristaux à un axe ne sont point complémentaires, elles sont melangées de différentes manières. Comme l'absorption de lumière des parties bleues et violettes est en elle-même plus forte que celle des parties orangées, jaunes, vert-clair, cette circonstance influe sur l'apparition de l'ensemble.

M. Babinet a observé il y a longtemps que les cristaux colorés négatifs absorbent principalement les rayons ordinaires, tandis qu'au contraire les cristaux positifs absorbent plus les rayons extraordinaires. Ce fait peut bien se produire pour quelques cristaux des deux classes, mais il n'est pas général. Parmi les cristaux négatifs on le retrouve dans la tourmaline, dont la base est plus foncée que l'axe, le saphir, le spath calcaire, le mica du Vésuve et la chlorite ; parmi les cristaux positifs il se montre dans la topaze enfumée.

Dans l'apatite, l'émeraude et le béril, l'on observe les deux cas suivant la couleur du cristal. Des bérils jaunes absorbent le rayon ordinaire plus que le rayon extraordinaire ; les bleus produisent l'effet contraire ; dans ces derniers l'image ordinaire est souvent sans couleur, tandis que l'image extraordinaire est d'un bleu-ciel très-foncé. La houppe lumineuse perpendiculaire, quoique faible, indique nettement la direction de la polarisation restante du rayon ordinaire.

La loi de la progression régulière de teinte depuis l'extrémité rouge du spectre jusqu'à l'extrémité violette, en allant de l'axe à la base pour les cristaux négatifs, et *vice versâ* pour les cristaux positifs, se manifeste encore par-ci, par-là, modifiée en général par l'effet des absorptions de lumière, qui ont lieu en même temps, et qui s'accordent peut-être avec l'observation de M. Babinet. Pour résoudre pleinement cette question, il faudrait faire une nouvelle série d'observations plus étendues.

La nomenclature des couleurs, que nous avons aujourd'hui, ne suffit pas à tous les besoins de ces recherches, et elle est souvent la cause de contradictions qui ne sont réellement qu'apparentes.

La similitude des relations de couleurs dans quelques espèces, par exemple, dans la baryte de Bëira et l'axinite, dans l'andalousite et le sphène, dans l'apatite et le béril, enfin dans quelques variétés de chlorite, de mica, de tourmaline, d'épidote et de babingtonite, etc., etc., est très-remarquable.

Digitized by Google

On pourrait rattacher à ce qui précède certains phénomènes importants et remarquables, déjà connus en partie, comme les houppes lumineuses que l'on observe dans la direction des axes, avec les espaces sombres qui les accompagnent; les coins lumineux colorés auprès des points axiaux dépendants de l'inclinaison inégale des axes optiques pour les diverses couleurs du spectre, axes qui, dans les cristaux anorthiques et dans quelques cristaux augitiques, ne sont pas même dans un seul plan, etc., etc.; mais l'examen de ces phénomènes nous aurait trop éloigné du sujet de ce Mémoire. »

Sur le pléochroïsme de l'améthyste, par W. HAIDINGER.

« Dans le précédent Mémoire sur le pléochroïsme des cristaux, j'ai essayé de coordonner quelques-uns des phénomènes qui s'observent dans l'améthyste, en les rapprochant de la forme cristalline. J'ai eu depuis l'occasion de compléter mes observations, en recommençant les expériences avec une lame d'améthyste taillée perpendiculaire à l'axe, et qui sortait des ateliers de M. Soleil, bien connu par la perfection avec laquelle il taille les plaques des cristaux. Placée entre deux polariseurs croisés, la lame donnait les anneaux colorés avec une croix noire aussi parfaitement que le spath calcaire, ce qui prouve que les effets des deux quartz de rotation contraire, dont elle se compose, se neutralisaient complétement; sans cela, en effet, on eût vu les spirales de M. Airy.

Les spirales dérivées vers la droite ou vers la gauche s'observent facilement sur le quartz, le cristal de roche parfaitement blanc, que l'on pourrait désigner aussi, comme l'a remarqué sir D. Brewster, sous le nom d'améthyste. Entre ces deux espèces de spirales on rencontre dans le cristal des parties qui donnent la croix noire d'une manière régulière; enfin vers le milieu, au sein d'une sorte d'étoile à six rayons dont les extrémités aboutissent aux angles de la section transversale ou de l'hexagone régulier qui constitue les surfaces de la plaque, et qui est limitée par des côtés parallèles, on retrouve un large espace donnant de la lumière circulairement polarisée.

Une lame d'améthyste taillée dans la pointe du cristal, si on l'examine avec attention à travers la loupe dichroscopique, présente un

Digitized by Google

système de bandes violettes alternativement claires et sombres. Ce système est parallèle aux trois lignes *ak*, *al* et *ah*, fig. 1, qui dans la projection sur la surface de la base occupent la même position que les projections des sections transversales faites entre les faces alternes P et P'.

Fig. 1.

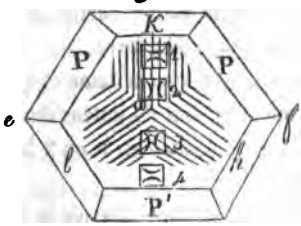
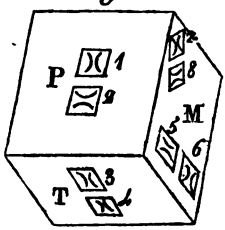


Fig. 4.



Ces bandes se manifestent encore plus distinctement quand on éclaire la lame au moyen de la lumière polarisée et que l'on emploie la loupe dichroscopique comme analyseur. Les bandes montrent les belles couleurs des anneaux que sir D. Brewster a signalées le premier comme caractérisant l'améthyste. Mais, de plus, sur les surfaces de plusieurs améthystes, surtout des améthystes du Brésil, on observe le système de bandes parallèles aux arêtes, fig. 2, que M. G. Rose a remarqué le premier. Des bandes sans éclat alternent avec des bandes plus brillantes. Elles proviennent sans doute de la succession de lamelles tantôt dextrogyres, tantôt lévogyres. Parallèlement à chacune des faces P, on observe aussi des couches colorées plus ou moins foncées, que l'on retrouve plus facilement quand on regarde dans la direction même des faces P.

Fig. 2.

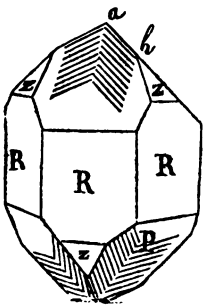
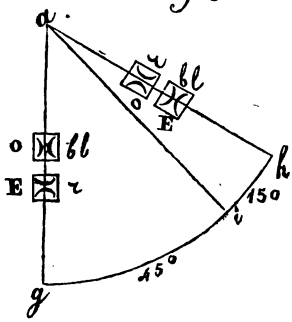


Fig. 3.



Digitized by Google

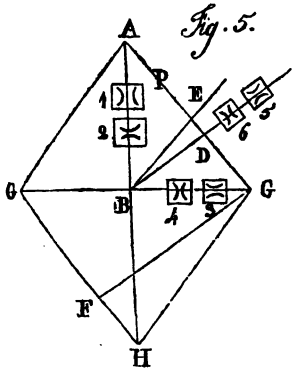
Dans la fig. 1, les couches plus colorées sont presque concentrées dans la portion *l a h*, parallèle à la face P′; si l'on incline la lame en la faisant tourner autour de la ligne *ef*, et qu'on regarde perpendiculairement à la face P′, la couleur de cette partie *l a h* paraît plus violet-rougeâtre qu'avant, tandis que les deux autres tiers *l a k* et *k a h* sont plus bleuâtres. Si l'on incline la lame de manière à regarder dans la direction de la surface P′, cette même partie *l a h* paraît violet-bleuâtre et les deux autres tiers plus rougeâtres.

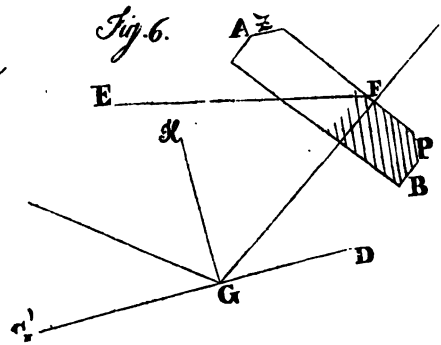
Lorsqu'on place la loupe dichroscopique sur la lame et que l'on observe les nuances colorées, comme elles sont désignées dans la fig. 1 par 1, 2, 3, 4, le bleu-violet devient rougeâtre en 1, en 2 bleuâtre, en 3 bleuâtre, et rougeâtre en 4.

On voit le changement de couleur, en faisant mouvoir la loupe en ligne droite perpendiculairement aux côtés de l'hexagone ; le milieu seul donne une nuance neutre, c'est-à-dire une nuance dans laquelle les images supérieures et inférieures de la loupe dichroscopique sont de la même couleur. Si l'on imprime à la loupe un mouvement circulaire, on voit en *ag*, fig. 3, dans l'image ordinaire la plus rapprochée du centre du cristal, le maximum bleu de la couleur bleu-violet, et le maximum du rouge en *a h*, à une distance de 60° de *a g*. La ligne *a i*, dans laquelle les deux images sont de la même couleur, fait nécessairement avec *a g* un angle de 45°. Il résulte donc de l'analyse par la loupe dichroscopique que la surface se compose de trois coins de 90° de bleu ascendant, et de trois coins de 30° de rouge ascendant; ce bleu et ce rouge d'ailleurs apparaissent plus intenses dans l'image ordinaire.

La surface perpendiculaire à l'axe, qui, ordinairement, dans les cristaux à un axe, donne par transmission deux images de même couleur, est donc ici dichromatique et donne les couleurs correspondantes à deux séries de vibrations circulaires de sens opposés et de vitesses inégales. Mais la loupe dichroscopique ne montre pas encore dans ces faces le maximum absolu des différences de couleurs. Pour l'obtenir, il faut séparer du cristal une portion semblable au segment *l a h*, fig. 1, et lui donner la forme particulière représentée fig. 4.

Digitized by Google





Comparé à la position du cristal, fig. 2, le parallélipipède limité par trois couples de surfaces perpendiculaires l'une à l'autre prend la forme indiquée par la fig. 4. Les surfaces P sont parallèles aux surfaces plus larges de l'hémi-quartzoïde ou aux faces rhomboédriques parallèles de l'améthyste; on observe dans leur intérieur les couches de couleur violette. Les surfaces M sont perpendiculaires à ces dernières et parallèles à l'axe du prisme hexagonal; les surfaces T sont perpendiculaires aux deux précédentes; l'arête PT est horizontale. Le dessin représente un parallélipipède plus grand que ceux que l'on peut obtenir avec les cristaux ordinaires, sous le rapport surtout de l'épaisseur ou de la distance entre la face P et la face opposée; mais on peut coller ensemble deux ou plusieurs lames taillées de petits cristaux du Brésil. Si les améthystes sont d'une teinte un peu plus foncée, des morceaux assez petits suffisent pour l'observation.

Dans un cristal taillé comme l'indique la figure 4, on reconnaît sans peine les couleurs suivantes très-bien orientées par rapport à la forme primitive.

Déjà dans la lumière ordinaire la surface P est d'un bleu-violet rougeâtre très-vif, la surface T d'un bleu-violet bleuâtre, et la surface M d'une nuance intermédiaire.

Les couleurs de ces faces sont décomposées par la loupe dichroscopique d'une manière tout à fait particulière, qui ne se retrouve pas dans les autres cristaux dichromatiques. Les images accouplées de chaque face indiquent, par la position des houppes que l'on y voit,

Digitized by Google

la position des plans de polarisation, suivant lesquels les couleurs sont décomposées.

Sur la surface P, l'image 1, polarisée dans la direction de l'axe du cristal et produite par le rayon ordinaire, est d'un beau bleu-violet, qui ne paraît bleuâtre que parce qu'il contraste avec le rouge-rose pur de l'image 2 polarisée perpendiculairement à l'axe et produite par le rayon extraordinaire. Dans des morceaux plus foncés, le rouge-rose passe au rouge-cramoisi, et le bleu violet devient plus foncé. Le maximum du contraste a lieu quand les deux images sont exactement perpendiculaires l'une à l'autre; ces images d'ailleurs présentent une répartition de couleur uniforme et sans raies.

Sur la surface T, l'image supérieure 3, produite par le rayon ordinaire et polarisée dans le plan de l'axe cristallographique de l'améthyste, est bleu-violet pur comme l'image 1 sur la surface P, mais l'image 4 contraste d'une manière frappante avec la précédente, parce qu'elle est de couleur bleu-pur sans nuance rougeâtre. Cette image 4 est plus claire que le rouge-rose ou le bleu-violet, et prend dans les morceaux peu colorés une teinte bleu pâle ou blanc-bleuâtre, souvent presque incolores. Dans des morceaux de couleur plus foncée, au contraire, elle passe au gris-bleuâtre tendant vers le bleu indigo, assez semblable à la teinte d'une encre très-délayée; dans quelques cristaux enfin cette image affecte même une nuance vert-pâle. Le maximum du contraste a lieu quand les deux images se trouvent l'une au-dessus de l'autre dans la direction de l'axe ; on observe alternativement des bandes plus claires et plus sombres, parallèles à la surface P.

Ces images, sous le rapport du degré de clarté, se rangent ainsi qu'il suit :

1° Nuance la plus claire. . . . . bleu-pâle;
2° Nuance moyenne. . . . . rouge-rose;
3° Nuance la plus foncée. . . . . bleu-violet.

En collant la surface M sur un cylindre de cire et faisant tourner le cristal devant l'ouverture lumineuse de la loupe dichroscopique autour de l'arête PT, de manière à observer alternativement les faces P et T, les deux images apparaissent naturellement placées l'une au-dessous de l'autre dans la direction perpendiculaire aux arêtes P M

Digitized by Google

et T M. L'image inférieure est pendant toute la rotation de couleur bleu-violet; l'image supérieure est tantôt rouge-rose, tantôt blanc-bleuâtre. Ce phénomène est semblable à celui que présentent ordinairement les cristaux trichromatiques, dans lesquels les couleurs sont réparties suivant les trois axes d'élasticité, et où les deux images de chaque face sont colorées des couleurs correspondantes aux deux axes qui se trouvent dans cette surface même.

En partant de la loi du trichroïsme dans les formes orthotypes, on conclurait que la couleur de la surface M, composée du rouge-rose et du bleu pâle, serait bleue-violette pâle, et que dans la loupe dichroscopique le maximum du contraste aurait lieu dans la position des images 5 et 6, ou perpendiculairement à cette position. Mais il n'en est pas ainsi, et les trois portions des cristaux d'améthyste *l a h*, *l a k* et *k a h*, sous le rapport de la répartition des couleurs, se séparent d'une manière très-nette et très-particulière des cas ordinaires du trichroïsme dans les cristaux orthotypes, augitiques ou anorthiques.

La fig. 5 représente un quartzoïde complet dont la structure est partout analogue à celle des surfaces P de l'améthyste. La surface P, sur laquelle on observe les teintes bleu-violet et rouge-rose, est représentée par la droite AC; la droite CF, perpendiculaire à AC, remplace la surface T, sur laquelle se manifestent les teintes bleu-violet et bleu-pâle. La surface perpendiculaire aux précédentes est A G H C; sa couleur est le bleu-violet. La loupe dichroscopique montre dans la position des images suivant l'axe les nuances suivantes :

1 Bleu-violet rougeâtre, ainsi que 4.
2 Bleu-violet bleuâtre, ainsi que 3.

La nuance bleu-violet rougeâtre semble être un mélange du bleu-violet avec le rouge-rose précédemment nommés; la nuance bleu-violet bleuâtre est un mélange du bleu-violet avec le bleu pâle.

Dans la direction E B, inclinée de 45° sur A B et BC, on retrouve la couleur neutre bleu-violet partagée entre deux images de couleur uniforme. Mais dans la direction D B, perpendiculaire à la surface P, et par conséquent perpendiculaire aux bandes colorées parallèles qui s'observent dans les cristaux d'améthyste, les images

Digitized by Google

commencent à contraster : l'image 5 est sensiblement d'une teinte plus bleue que l'image 6.

Dans les améthystes naturelles du Brésil, qui sont limitées tout autour par des cassures, où par conséquent l'observation de la forme régulière est impossible, on peut facilement retrouver la direction de l'axe du cristal au moyen des couleurs, alors même qu'il ne reste plus aucune trace des faces du cristal primitif. Pour cela, il faut d'abord chercher à l'œil nu la direction dans laquelle le bleu-violet paraît le plus bleu : c'est la position de la surface ci-dessus désignée par T, fig. 4 et 5. Si l'on place le cristal devant l'œil dans cette position et qu'on l'examine avec la loupe dichroscopique, on retrouve bientôt le contraste du bleu-violet avec le bleu-pâle ; et en plaçant la première image directement au-dessus de la seconde, on obtient la position de la section principale, c'est-à-dire du plan dans lequel se trouve l'axe du cristal. Enfin, l'apparition de la couleur rouge-violâtre, ou bleu-violâtre sur la face A G H C, qui est perpendiculaire aux faces P et T, indique si l'on a attaqué le cristal du côté de la pointe A ou de la base C. Il existe ordinairement des bandes colorées qui facilitent la recherche de l'axe.

Depuis longtemps, sir D. Brewster avait observé ces nuances très-remarquables.

Nous avons déjà fait observer que la couleur des faces de l'hémiquartzoïde ou rhomboèdre P, fig. 5, est uniforme, tandis que la couleur de la face artificielle T, perpendiculaire aux faces précédentes et à la section principale, est sillonnée de raies ou bandes plus ou moins claires. Ce phénomène provient de ce que la matière colorante est disposée parallèlement aux surfaces P, en quantité plus ou moins grande dans les cristaux jumeaux d'améthyste, formés de couches d'échantillons lévogyres et dextrogyres.

Mais les bandes qui, dans les sections perpendiculaires à l'axe, se manifestent parallèlement à l'arête *a h*, fig. 1, sont aussi alternativement claires et foncées, ou alternativement blanches et bleu-violet. La matière colorante occupe donc en même temps une position symétrique qui répond, dans la série de cristallisation des quartz, au prisme hexagonal régulier ∞ R, c'est-à dire à la limite du rhomboèdre ou du trigonoèdre.

On peut par conséquent considérer un cristal d'améthyste de for-

Digitized by Google

mation parfaite comme composé de couches qui se sont superposées d'abord parallèlement aux faces P, puis parallèlement aux trois faces d'un prisme triangulaire formé par les plans *ah*, *ak*, *al*, fig. 1, qui se rencontrent suivant l'axe.

Cet arrangement particulier donne lieu à des phénomènes spéciaux que nous allons décrire en peu de mots.

Nous avons vu que dans la loupe dichroscopique l'image ordinaire supérieure 3, fig. 1, paraît bleuâtre, l'image extraordinaire inférieure 4 rougeâtre, et toutes les deux de couleur bleu-violet. Supposons maintenant que l'on regarde une surface perpendiculairement polarisée, par exemple, une glace inclinée sous l'angle de polarisation, à travers la portion *l a h* de la lame cristalline, sans se servir de la loupe dichroscopique: on verra naître évidemment cette même nuance violet-bleuâtre, comme l'expérience en effet le prouve. Si l'on veut voir la nuance violet-rougeâtre, il est nécessaire qu'on tourne la lame d'un angle égal à 90°, en conservant toutefois sa position perpendiculaire à l'axe visuel. Pour voir ces phénomènes, il faut d'ailleurs placer la lame au foyer d'une loupe ordinaire.

En éloignant la loupe et en plaçant la lame devant l'œil, de manière à ce que l'on puisse voir à travers le champ lumineux polarisé, on observe d'abord tout près de l'axe visuel les couleurs violet-rougeâtre et violet-bleuâtre dont il a déjà été fait mention, mais elles forment maintenant le centre d'un phénomène très-frappant. On observe la répartition de couleurs sous forme de croix propre à l'axe du cristal rhomboédrique, avec les espaces intermédiaires non plus dessinés par des alternatives de blanc et de noir avec la série régulière des anneaux colorés de Newton, mais par les teintes violettes de l'améthyste.

La première position correspondante au violet-bleuâtre montre une croix violet-bleuâtre, dont les branches s'étendent dans la direction de la polarisation rectiligne primitive de la glace noire en question; et perpendiculairement à cette direction dans les angles de la croix, à 45° des branches, on observe des espaces circulaires de couleur violet-rougeâtre, qui passe au vert-pâle dans les points du plus grand contraste. Dans la seconde position correspondante au

Digitized by Google

violet-rougeâtre, on voit une croix située, par rapport au plan de polarisation du miroir, comme la première croix, mais dont la teinte est cette fois violet-rougeâtre. Les taches colorées dans ces angles sont violet-bleuâtres.

L'explication de ce phénomène n'est pas difficile, mais elle dépend de la composition particulière par couches de l'améthyste. La croix est le phénomène propre aux cristaux taillés perpendiculairement à l'axe, et qui se manifeste dans la lumière polarisée. Elle est complète et on n'observe point la polarisation circulaire propre du quartz, parce que, dans les surfaces parallèles à l'axe, les individus gauches et droits sont si près l'un de l'autre qu'ils produisent ensemble l'effet d'un cristal ordinaire à un axe.

La lame A B, fig. 6, reçoit du miroir C D de la lumière complétement polarisée dans une direction. Elle la décompose et la transforme en un ensemble de rayons ordinairement et extraordinairement polarisés. Les plans de polarisation des deux sortes de rayons sont dirigés pour les premiers perpendiculairement, pour les derniers parallèlement à l'axe; mais la lame décompose la lumière de nouveau par l'action des couches successives parallèles à la surface P des cristaux élémentaires dextrogyres et lévogyres, et de la matière colorante intermédiaire. L'angle d'incidence du rayon G F sur ces couches ou sur E F G est égal à 51° 47′ 1/2, et diffère seulement de 5° 10′ 1/2 de l'angle de polarisation du quartz égal à 56° 58′ 1/2.

Il se produit donc déjà une certaine quantité de lumière polarisée, et comme elle est polarisée par transmission, son plan de polarisation est perpendiculaire au plan d'incidence E F G, fig. 6, et coïncide avec la position de l'image colorée 4, fig. 1. L'effet de la lame comme pile de glace polarisante se produit donc en position croisée avec l'effet de la surface du miroir réflecteur, et l'œil reçoit le minimum de lumière, c'est-à-dire la croix violet-bleuâtre plus foncée, analogue à la croix noire, et dessinée sur un fond éclairé. Si l'on tourne le miroir de 90°, les deux plans de polarisation coïncident, et l'on obtient le maximum de lumière, c'est à-dire la croix violet-rougeâtre plus claire avec les espaces angulaires sombres.

Si l'on pose sur la lame d'améthyste une lame ordinaire de tourmaline comme analyseur, de manière à ce que le plan de polarisation de la dernière coïncide avec celui de la première, ou qu'il ait la

Digitized by Google

position de l'image 4, fig. 1, l'analyse conserve le même caractère, c'est-à-dire que l'effet de l'améthyste est augmenté, la croix violet-sombre est remplacée par une croix noire. Le contraire a lieu, si l'on donne à la tourmaline la position de l'image 3; alors elle agit contre la lame d'améthyste et surmonte complétement son action. On obtient dans ce cas une croix claire au lieu de la croix bleu-violet sombre.

On observe un bel effet optique en regardant à travers la loupe dichroscopique la lame d'améthyste dans la position indiquée par la fig. 6. Les bandes de la coloration violette se partagent, comme fig. 1, entre les deux images 3 et 4, mais elles sont très-rehaussées par le mélange des couleurs d'interférence. La lame dont nous avons ci-dessus donné la description présente en 3 les teintes rougeâtre et jaunâtre, en 4 les teintes plus bleuâtres et violettes.

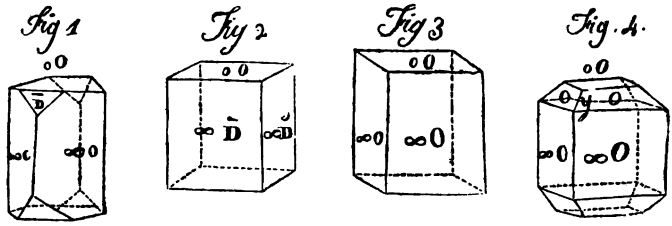
Ce phénomène que nous venons de décrire des croix et des espaces violet, bleuâtre et rougeâtre, est en rapport très-intime avec les résultats des expériences de M. Biot sur l'alun, et les phénomènes qu'il a désignés sous le nom de *polarisation lamellaire*. Cette polarisation propre aux lamelles des cristaux se combine de mille manières avec les effets particuliers des cristaux pris en eux-mêmes, et donne ainsi naissance à cette multitude de phénomènes merveilleux que les Brewster, les Herschel, les Biot, etc., ont observés sur l'apophyllite, l'analcime, le boracite, l'idocrase, le sel minéral, le salmiac, etc., et que le grand physicien français a ramené à la loi générale de la concordance des phénomènes optiques et cristallographiques.

Propriétés optiques de l'andalousite transparente, par M. HAIDINGER.

Une andalousite, fig. 1, taillée dans la forme indiquée fig. 2, limitée 1° par la surface perpendiculaire à l'axe, 2° par les faces $\infty \bar{D}$ parallèles à la diagonale la plus grande, enfin par $\infty \breve{D}$ parallèle à la plus petite diagonale du prisme de 90° 51′, présente dans la lumière transmise trois nuances vertes très-différentes, suivant les trois directions différentes perpendiculaires les unes aux autres. Considérée perpen-

Digitized by Google

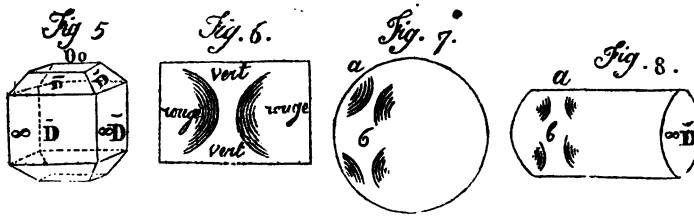
diculairement à la surface $\infty \bar{D}$, ou dans la direction de la plus courte diagonale, on observe un beau vert d'huile jaunâtre. Perpendiculairement à la surface $\infty \breve{D}$, ou dans la direction de la plus longue diagonale du prisme de 90° 51′, apparaît un vert-olive un peu noirâtre. Les deux nuances précédentes sont cependant très-claires. Enfin, perpendiculairement à la surface o O, ou dans la direction de l'axe du prisme, on observe une nuance intermédiaire entre le vert d'huile et le vert-olive: le dernier est mêlé de beaucoup de noir, le premier de beaucoup de jaune.



Un prisme, fig. 3, taillé perpendiculairement à l'axe et parallèlement aux surfaces latérales du prisme de 90° 51′, présente partout, dans la direction perpendiculaire aux faces, cette même nuance intermédiaire.

Si l'on examine le cristal, fig. 3, dans des directions inclinées sur l'axe, on voit apparaître un beau rouge-hyacinthe foncé dans les directions perpendiculaires aux arêtes entre o O et ∞ O, c'est-à-dire dans les directions perpendiculaires aux faces de l'orthotype fondamental hypothétique O, ainsi qu'il est produit artificiellement dans la fig. 4. La nuance la plus foncée de cette couleur rouge se manifeste près de l'arête la plus obstuse y, tandis qu'elle est moins foncée près de l'arête plus aiguë x.

Dans l'observation à travers des faces artificielles, fig. 5, ce phéno-



Digitized by Google

même subit quelques modifications. — Tourné dans la direction o O, $\breve{D}$, ∞ $\breve{D}$, l'œil n'aperçoit à travers $\breve{D}$ qu'un faible rehaussement de la teinte rouge. La couleur verte melangée, vue par les faces o O, se transforme en une teinte rougeâtre pâle et passe ensuite au vert-olive des surfaces diagonales ∞ $\breve{D}$.

Un phénomène beaucoup plus intéressant se présente sur la double surface $\overline{D}$. Si l'on tourne l'échantillon cristallisé, fig. 5, dans la direction de o O, $\overline{D}$, ∞ $\overline{D}$, on observe sur la face $\overline{D}$ une bande claire vert d'huile, entourée des deux côtés de secteurs rouge-hyacinthe très-foncés, fig. 6.

Ce phénomène se montre encore d'une manière plus frappante sur des lames taillées exprès et dans une direction convenable. Du reste, plus ces lames sont minces, moins les couleurs sont distinctes.

Les secteurs rouges avec les larges bandes vert d'huile, divergentes des deux côtés, se manifestent d'une manière brillante surtout dans les échantillons taillés sur la forme d'une sphère, fig. 7, ou d'un cylindre, fig. 8. On voit apparaître quatre systèmes semblables de secteurs dans la rotation autour de la grande diagonale de la base O. Les points où deux secteurs rouges opposés se rapprochent le plus l'un de l'autre, ou les centres des systèmes d'anneaux colorés, indiquent la position des axes optiques correspondants. Parallèlement à ces axes on observe dans des lames minces et dans la lumière polarisée les systèmes d'anneaux colorés elliptiques.

Le caractère optique de ces systèmes d'anneaux est le même que celui des anneaux du spath calcaire. La croix noire se manifeste dans le spath calcaire sous les mêmes conditions que les lignes noires dans les systèmes d'anneaux elliptiques de l'andalousite.

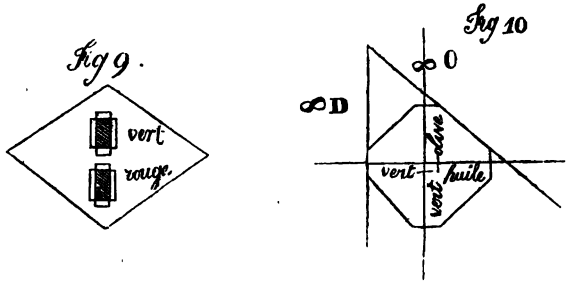
Sir David Brewster a observé sur la dichroïte un phénomène tout à fait analogue au précédent. Dans la collection de M. Allan, à Edinbourg, se trouvait un exemplaire taillé de ce minéral, et la direction des coupes avait été menagée par sir D. Brewster de telle manière que les beaux secteurs bleus foncés, traversés par les houppes de lumière gris-rougeâtre divergentes, étaient en tout semblables aux secteurs rouges et verts de l'andalousite.

Supposons que l'on observe avec la loupe dichroscopique dans di-

Digitized by Google

verses positions, mais en plaçant toujours l'appareil de telle sorte que l'image ordinaire soit située au-dessus de l'image extraordinaire :

Si l'axe de l'andalousite se trouve horizontalement derrière l'ouverture, l'image supérieure est rouge. Si l'épaisseur du cristal est d'une ligne, ce rouge déjà est tellement foncé qu'il paraît tout à fait noir. Il faut la lumière solaire la plus intense pour produire un rouge-sang foncé. L'image inférieure est verte, savoir, vert d'huile ou vert-olive, suivant la position des diagonales. On voit le premier vert perpendiculairement à ∞ $\overline{D}$, le dernier perpendiculairement à ∞ $\breve{D}$.



En donnant à l'andalousite la position représentée dans la fig. 9, de sorte que son axe soit vertical, l'image supérieure est verte, l'inférieure rouge. Le contraste entre ces deux nuances est tellement frappant, que cette expérience est une des plus intéressantes que l'on puisse faire dans ce genre de phénomènes.

La position de l'axe dans les lames d'andalousite se fait facilement reconnaître par une espèce particulière de raies ou stries, que l'on observe dans l'intérieur du cristal, alors même que les surfaces sont parfaitement taillées et polies. On voit très-distinctement ces stries courant dans une direction perpendiculaire à l'axe, soit que l'on regarde à travers deux surfaces opposées l'une à l'autre du prisme ∞ O de 90° 51′, soit à travers les surfaces diagonales ∞ $\overline{D}$ ou ∞ $\breve{D}$. Toutes les variétés, celles du Brésil et de Goldenstein, en Moravie, offrent cette particularité.

Si l'on place derrière l'ouverture lumineuse d'un double spath un fragment d'andalousite dans une position telle que les surfaces diagonales de ∞ $\overline{D}$ soient horizontales, et que par conséquent on puisse observer dans la direction verticale la couleur vert d'huile, dans la

Digitized by Google

direction horizontale la couleur vert-olive, alors l'image supérieure est vert d'huile, l'image inférieure vert-olive, et ces deux couleurs forment entre elles un contraste très-vif.

Le contraire a lieu, si l'on tourne l'andalousite de 90°, c'est-à-dire si la face ∞ $\breve{D}$ est horizontale : alors l'image supérieure est vert-olive et l'image inférieure vert d'huile.

L'indice de réfraction mesuré est de 1,624 pour le rouge et 1,631 pour le vert : on s'est servi, pour obtenir cette mesure, du prisme fig. 10, dont deux des pans sont parallèles à la face ∞ O, et à la face ∞ $\bar{D}$, parallèle elle-même à la plus longue diagonale du prisme de 90° 51′.

Si l'on analyse le cristal avec le double spath, l'image réfractée dans le rayon supérieur ordinaire n'est point modifiée, l'image rouge disparaît. Au contraire, l'image rouge réfractée dans le rayon extraordinaire inférieur demeure intacte, et l'image verte disparaît.

Le rayon vert le plus réfracté, et dont l'indice est de 1,631, est dans le rayon ordinaire, c'est-à-dire celui qui dans l'andalousite a subi la réfraction ordinaire. Le rayon rouge moins réfracté, dont l'indice est de 1,624, a subi la réfraction extraordinaire ; et ce dernier rayon, dans la direction perpendiculaire à l'axe, est absorbé par la substance du cristal proportionnellement à l'épaisseur.

Propriétés optiques du diaspore de Schemnitz, par M. HAIDINGER.

Nous nous servirons d'un cristal naturel que l'on a taillé artificiellement suivant trois directions perpendiculaires l'une à l'autre, et désignées par les lettres P, M, T, de Haüy.

Les variétés sont d'un degré de coloration très-différent, allant de l'état incolore jusqu'au bleu violet foncé, que l'on observe surtout sur les cristaux incrustés. En examinant ces derniers de plus près, après en avoir découvert toutes les faces, on voit apparaître dans la direction perpendiculaire à M un bleu-violet parfait qui se rapproche sensiblement dans la direction perpendiculaire à P d'un bleu-prune plus rougeâtre, et passe enfin dans la direction perpendiculaire à T au vert d'asperge très-pâle.

Quand on regarde dans la direction de la section principale à tra-

Digitized by Google

vers la loupe dichroscopique, la face M placée verticalement paraît bleu-violet dans le rayon ordinaire supérieur ; elle se montre bleu-ciel dans le rayon extraordinaire inférieur; dans une position horizontale cette même surface M apparaît bleu-ciel dans le rayon supérieur, et bleu-violet dans le rayon inférieur. Placée verticalement, la face T, dans le rayon ordinaire supérieur, est d'un jaune de miel, dans le rayon extraordinaire inférieur, d'un bleu de ciel ; placée horizontalement, elle se montre colorée en bleu-ciel dans le rayon supérieur, en jaune-miel dans le rayon inférieur. Enfin, la face P se montre, quand l'arête P M est verticale, colorée en jaune de miel dans le rayon ordinaire supérieur, et en bleu-violet dans le rayon inférieur, tandis que, si l'arête P M est horizontale, la face P est bleu-violet dans le rayon supérieur, et jaune de miel dans le rayon inférieur.

En faisant tourner le rayon du cristal autour de son axe MT, supposé horizontal, l'image supérieure présente dans toutes les positions la couleur bleu-ciel, tandis que dans l'image inférieure on observe tantôt le bleu-violet, tantôt le jaune de miel ; si l'axe MT est vertical, le contraire à lieu : l'image inférieure offre constamment le bleu-ciel, l'image supérieure tantôt le bleu-violet, tantôt le jaune de miel. En tournant le cristal autour de l'axe M P, c'est alors le bleu-violet que l'on observe constamment ; ce sera le jaune de miel, si on le fait tourner autour de l'axe PT.

Les couleurs sont ordinairement très-pâles, surtout le bleu-ciel, qui se rapproche du vert de montagne et ressemble beaucoup à la couleur de certains cristaux d'aiguemarine ou de béril. De même, le jaune-miel pâle tend vers le jaune-vin.

Dans la lumière polarisée, on ne peut saisir aucune trace de décomposition. Les indices de réfraction des deux rayons sont 1,652 et 1,694. L'image la plus éloignée disparaît, si l'axe de la tourmaline analyseur est parallèle à l'axe du prisme biréfringent ; cette image est donc de même nature que le rayon ordinaire dans le spath calcaire. Le rayon le plus réfracté est le rayon ordinaire, le moins réfracté est le rayon extraordinaire.

Note sur un nouveau caractère distinctif entre les cristaux à un axe positifs et négatifs, par MM. MOIGNO et SOLEIL.

Les cristaux positifs ou doués de la double réfraction attractive

Digitized by Google

sont ceux dans lesquels l'indice de réfraction extraordinaire est plus petit que l'indice de réfraction ordinaire; le rayon extraordinaire s'éloigne moins de l'axe et il marche moins rapidement que le rayon ordinaire. Dans les cristaux négatifs ou doués de la double réfraction répulsive, au contraire, l'indice de réfraction extraordinaire est plus grand que l'indice de réfraction ordinaire; le rayon extraordinaire s'éloigne plus de l'axe, il se meut plus rapidement.

Séparés, d'abord, à un point de vue purement optique, les cristaux positifs et négatifs, à mesure que la science faisait des progrès, se distinguèrent par des caractères non moins saillants.

Dans les cristaux négatifs, comme le spath d'Islande, la dilatation produite par la chaleur est plus grande dans la direction du plus petit axe d'élasticité : dans les cristaux positifs, au contraire, comme la sélénite ou le cristal de roche, la dilatation est moindre dans la direction du petit axe que dans la direction perpendiculaire.

M. Babinet a remarqué qu'en général, dans les cristaux négatifs, le rayon ordinaire est plus absorbé que le rayon extraordinaire, tandis que dans les cristaux positifs, c'est le rayon extraordinaire qui est plus absorbé.

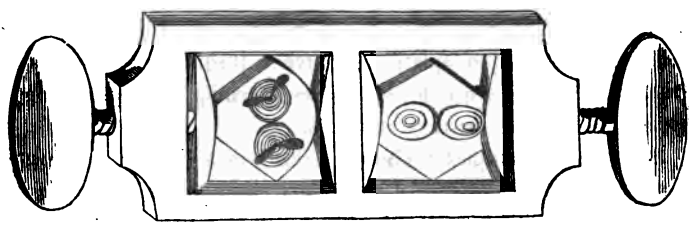
Dans son Mémoire sur la conductibilité des corps cristallisés pour la chaleur, M. de Sénarmont a constaté que les seuls exemples de l'ellipsoïde thermique aplati se trouvent jusqu'à présent dans les cristaux répulsifs, et que les ellipsoïdes thermiques les plus allongés appartiennent à des cristaux attractifs.

Dans ses magnifiques recherches relatives à l'action du magnétisme sur les axes optiques des cristaux, M. Plücker a reconnu que les cristaux positifs et négatifs différaient essentiellement dans leur mode d'orientation. Les axes des cristaux négatifs sont constamment repoussés et les axes des cristaux positifs constamment attirés.

M. Brewster, dans les observations importantes qu'il a faites sur les effets de la compression, avait remarqué que, si l'on comprime ou dilate un cristal à un axe perpendiculairement ou parallèlement à l'axe, 1° la teinte des anneaux, dans le cas de la compression perpendiculaire, descend si le cristal est positif, monte s'il est négatif; cette teinte monterait, au contraire, dans les cristaux positifs, et descendrait dans les cristaux négatifs, si l'on dilatait perpendiculairement au lieu de comprimer; 2° que si la compression est parallèle à l'axe,

Digitized by Google

l'effet est complètement interverti ; 3° que la compression perpendiculaire à l'axe transforme le cristal à un axe, en cristal à deux axes, en ce sens qu'on voit apparaître deux systèmes d'anneaux colorés concentriques plus ou moins séparés, avec des pinceaux obscurs. Il n'alla pas plus loin. M. de Haldat avait parlé à M. Soleil de cette expérience, et depuis longtemps l'habile artiste désirait la répéter. Tout récemment il construisit une presse *ad hoc* et nous l'apporta pour nous rendre témoin de ce curieux phénomène. Nous eûmes alors la pensée de voir si cette fois encore les cristaux attractifs et répulsifs ne se distingueraient pas par quelque différence d'action. Nous avions à notre disposition un cristal de roche positif, et un béryl négatif ; les deux cristaux étaient taillés perpendiculairement à l'axe. Nous les comprimâmes tour à tour, et nous fûmes grandement surpris de voir que, dans le cristal de roche, le système unique d'anneaux se dédoublait dans le sens de la compression, tandis que dans le béryl le dédoublement avait lieu perpendiculairement à la pression. Répétée sur d'autres cristaux, l'expérience donna les mêmes résultats. Nous donnons ici la figure très-simple d'un petit appareil qui fera, nous l'espérons, partie de toutes les collections



optiques. Il n'a pas besoin de description, et se comprend facilement de lui-même. Les cristaux pressés sont d'une part, à droite, un cristal de roche, à gauche, une tourmaline. Le cristal de roche est positif, l'axe du double système coïncide avec la ligne de pression ; la tourmaline est négative, la ligne qui joint les centres des anneaux est perpendiculaire à la pression. Pour observer les anneaux, on se sert tout simplement d'une pince à tourmalines que l'on place à 45 degrés, ou dans la position correspondante au maximum d'intensité.

Digitized by Google

OPTIQUE MÉTÉOROLOGIQUE.

PHÉNOMÈNES ATMOSPHÉRIQUES.

I. *Sur la nature des parties de l'atmosphère terrestre qui produisent la réflexion de la lumière*, par R. CLAUSIUS.

On sait que notre atmosphère n'est pas absolument transparente, mais qu'au contraire elle affaiblit considérablement la lumière, celle du soleil, par exemple, et que cet astre apparaît moins brillant à la surface de la terre que ne le verrait un observateur placé en dehors de notre atmosphère. Cet affaiblissement d'éclat est produit, au moins en très-grande partie, par les réflexions qui ont lieu partout dans l'atmosphère, comme le prouve la grande quantité de lumière réfléchie que l'atmosphère envoie à la surface terrestre. Cette opinion, quoique assez évidente par elle-même, a été pleinement confirmée par la découverte encore récente de l'état polarisé de la lumière atmosphérique.

La grande question, c'est de reconnaître la cause de ces réflexions de la lumière dans l'atmosphère. Sa solution offre un double intérêt. D'une part, les recherches théoriques sur l'intensité et le mode de la réflexion supposent la connaissance de cette cause; d'autre part, il serait utile de connaître les rapports théoriques qui existent entre les phénomènes optiques et les phénomènes météorologiques de l'atmosphère.

Il existe, tant relativement à la réflexion que relativement à la couleur bleue du ciel à l'aurore, et au rouge du ciel au coucher du soleil, des opinions très-différentes, sans que l'une ou l'autre d'entre elles ait paru suffisamment fondée pour être généralement acceptée. Néanmoins nous croyons pouvoir tirer des faits généralement connus des conclusions qui conduisent à une hypothèse non-seulement déterminée, mais aussi la seule possible. Ces conclusions forment le but des considérations suivantes.

D'abord il est évident que ce n'est pas la densité différente des diverses couches d'air qui est la cause de cette réflexion. Les surfaces de séparation de ces couches supposées définitivement séparées, étant parallèles les unes aux autres et à la surface terrestre, ne pourraient réfléchir la lumière solaire que suivant des directions

Digitized by Google

déterminées, qui souvent même ne rencontreraient jamais la surface de la terre, de sorte que le ciel paraîtrait tout à fait sombre. Or, comme chaque point de la surface terrestre reçoit la lumière dans toutes les directions, on peut en conclure qu'il existe dans l'atmosphère des surfaces réfléchissantes occupant toutes les positions possibles. Donc il faut admettre dans l'atmosphère un nombre infini de masses de densité différente et aux surfaces-limites desquelles la réflexion a lieu.

Ces masses sont-elles des corps étrangers à l'atmosphère qui nagent dans son sein, ou sont elles des parties constituantes de l'atmosphère? c'est une autre question à part. Il importe seulement de savoir si ces masses sont transparentes ou opaques.

Des masses opaques se comporteraient, au point de vue de l'optique, au moins comme des métaux polis, et il est impossible d'admettre que leur répartition dans toutes les régions de l'atmosphère soit assez régulière pour qu'elle ne donne naissance à aucun phénomène remarquable et dont on puisse faire abstraction. On peut même dire que parmi les substances étrangères l'eau seule pourrait se trouver dans l'air en quantité suffisante pour produire une réflexion aussi considérable; mais en supposant *transparentes* les masses qui produisent la réflexion dans l'atmosphère, nous avons gagné beaucoup de terrain dans la discussion de la question que nous nous sommes proposée. Alors chaque rayon, en rencontrant une telle masse, est réfléchi en partie à la surface antérieure, en partie à la surface postérieure; enfin une autre partie traverse la masse en subissant à l'entrée et à la sortie une réfraction, dans tous les cas où son incidence n'est pas perpendiculaire aux surfaces. En général, il faut admettre que le rayon, après avoir traversé une semblable masse, suit une direction nouvelle, et que, par conséquent, la lumière qui traverse l'atmosphère est le plus souvent dispersée; ce phénomène ne doit pas pouvoir en général échapper à l'observation. Or, abstraction faite de quelques phénomènes particuliers, par exemple, de la réfraction astronomique, l'on sait que la lumière se propage rectilignement dans l'atmosphère, car sans cela, en effet, il nous serait impossible de voir nettement les objets avec leur forme et à leur place réelle. Il importe dès lors d'examiner si et dans quelles circonstances la ré-

Digitized by Google

flexion nécessairement accompagnée de la réfraction s'accorde avec ce fait bien connu.

En admettant la forme des masses de telle sorte que, pour chaque rayon lumineux qui en traverse une, la surface antérieure au point de l'entrée soit parallèle à la surface postérieure au point de la sortie du rayon, alors la déviation subie à l'entrée serait compensée ou détruite par la déviation en sens contraire subie à la sortie. Ainsi, pendant que les deux réflexions à la surface antérieure et à la surface postérieure s'ajoutent, les réfractions se détruisent mutuellement, et la portion émergente du rayon poursuit sa direction primitive. Pour que cette condition se trouve remplie, il faut admettre que toutes les masses réfléchissantes ont la forme de lamelles excessivement minces à surfaces-limites parallèles, par exemple, comme des vésicules d'eau, qui nagent dans l'atmosphère. L'existence de ces vésicules dans l'atmosphère, même par le temps le plus serein, est très-probable; mais leurs dimensions sont alors presque infiniment petites. Une telle vésicule est formée d'une pellicule d'eau cohérente, limitée par deux surfaces sphériques parallèles. Plus elle est fine, mieux elle satisfait à la condition ci-dessus mentionnée. On conçoit que la propagation rectiligne de la lumière ne soit guère altérée par des vésicules d'eau très-fines, tandis que la réflexion peut devenir très-considérable, parce que chaque rayon, en traversant une vésicule d'eau, rencontre quatre surfaces-limites, de sorte qu'une quantité proportionnellement peu considérable de ces vésicules suffirait pour produire toute la réflexion que l'on observe dans l'atmosphère.

Nous sommes donc conduit à admettre cette hypothèse que *la réflexion dans l'atmosphère est produite par des vésicules d'eau*, et nous allons voir maintenant qu'elle suffit à l'explication de tous ces phénomènes.

M. Clausius entre ensuite dans la discussion des masses, dont les surfaces-limites ne sont point parallèles, mais inclinées. Il cherche à déterminer la dispersion de la lumière produite par ces masses et à la comparer avec la réalité. Par divers raisonnements, M. Clausius arrive à admettre que la réflexion *atmosphérique de la lumière est produite par des masses sphériques transparentes nageant dans l'atmosphère*. Cette hypothèse une fois admise, on peut alors calculer la

Digitized by Google

réfraction et la dispersion qui accompagnent la réflexion de la lumière dans l'atmosphère.

M. Clausius, après avoir démontré par le calcul que le pouvoir réfringent de ces globules doit être très-petit, c'est-à-dire que leur indice de réfraction est à peu près égal à 1, termine son mémoire par les conclusions suivantes :

« En résumé, si l'on n'admet pas que la réflexion atmosphérique se fasse à la surface de corps non transparents nageant dans l'atmosphère, cette réflexion sera nécessairement accompagnée de réfraction, et cette réfraction dans toutes les circonstances donnera naissance à des phénomènes qui sont en contradiction avec les observations les plus communes, excepté dans le cas unique où les masses réfléchissantes seraient des lamelles excessivement minces à surfaces-limites parallèles. On arrive donc invinciblement à admettre l'*existence de vésicules fines de vapeur qui, même par le temps le plus clair, nagent dans l'air et y produisent la réflexion.* »

II. *Sur la couleur bleue du ciel, sur l'aurore et le rouge du ciel au coucher du soleil*, par M. R. CLAUSIUS.

Dans le Mémoire précédent, nous avons indiqué le rapport intime qui existe entre la réflexion de la lumière dans l'atmosphère terrestre, la couleur bleue du ciel, l'aurore et le rouge du ciel au coucher du soleil. Entre autres opinions sur ce sujet, l'on avait déjà désigné l'hypothèse que la *réflexion de la lumière se fait à la surface de vésicules de vapeur :* or, cette hypothèse explique ces phénomènes de la manière la plus complète. Ainsi Newton, par exemple, dit (*Optice*, B. II, P. III, Prop. 7) : « Le bleu du premier ordre, quoique très-
» fin et faible, peut bien être la couleur de quelques substances, et en
» particulier l'azur du firmament semble être une couleur de cet ordre;
» car toutes les vapeurs, quand elles commencent à se condenser et
» à s'unir en petites particules, acquièrent d'abord le degré de finesse
» qui les rend propres à réfléchir cette couleur azur, avant qu'elles
» puissent constituer des nuages de couleurs différentes. Ainsi donc,
» cet azur étant la première couleur que les vapeurs commencent à
» réfléchir, il doit être la couleur des cieux les plus purs et les plus
» transparents dans lesquels les vapeurs ne sont pas encore arrivées

Digitized by Google

» à ce degré de grosseur nécessaire à la réflexion des autres couleurs, » comme nous l'avons trouvé par l'expérience. »

Newton ne donne pas une description plus détaillée de la marche du phénomène ; il est douteux qu'il en ait eu une connaissance complète. Quand il dit dans un autre endroit (*Optice*, B. II, P. III, Prop. 5) que les particules d'eau doivent former, en devenant plus grandes, des nuages diversement colorés, il tombe, ce semble, dans une erreur que nous signalerons ci-après. L'expression par laquelle il désigne les particules d'eau semble indiquer qu'il voulait désigner non des vésicules vides, mais des globules solides ; ce qui, d'après la discussion précédente, n'a pas lieu.

Après Newton, plusieurs autres physiciens se sont prononcés en faveur de l'hypothèse des vésicules de vapeur, mais nulle part on n'en trouve une théorie mathématique développée. Aussi n'est-elle pas généralement reçue. Une autre explication, celle que M. Brandes a développée dans le dictionnaire de M. Gehler, et d'après laquelle les particules d'air elles-mêmes réfléchissent la lumière bleue en proportion plus forte que la lumière rouge, semble jouir d'un plus grand crédit.

Toute vésicule de vapeur, étant formée d'une pellicule d'eau sphérique très-fine, considérée comme très-mince comparativement à son diamètre, exerce sur le rayon lumineux qui la traverse deux fois la même action qu'une lame d'eau plane à surfaces-limites parallèles de la même épaisseur. Par conséquent, la théorie connue des lamelles trouvera ici son application.

Si la lumière incidente, au lieu d'être homogène, se compose de différentes couleurs, la lamelle agit sur ces couleurs en proportions différentes : elle colore la lumière réfléchie ainsi que la lumiere transmise, et les couleurs de ces rayons réfléchis et transmis sont, d'après le calcul, des couleurs complémentaires.

Examinons d'abord la lumière *réfléchie*, en admettant que la lumière incidente soit blanche.

Supposons encore que l'épaisseur de la lamelle soit le quart de la plus petite longueur d'onde que l'on connaisse, c'est-à-dire le quart de la longueur d'onde du rayon violet le plus extrême. Sous l'incidence perpendiculaire de la lumière, la réflexion des rayons violets est la plus grande possible ; celle des autres rayons l'est moins, en

Digitized by Google

raison de leur plus grande longueur d'onde. Le mélange de ces quantités de lumière donne un bleu-blanchâtre qui est plus faible, quoique toujours bleu, à mesure que l'angle d'incidence diminue, la réflexion du violet n'étant plus alors dans son maximum. Ce dernier phénomène a toujours lieu quand on diminue l'épaisseur de la lamelle. La lumière réfléchie paraîtra alors toujours d'un bleu plus sombre, jusqu'à ce que la lamelle devienne trop mince pour pouvoir réfléchir encore de la lumière. Ce même résultat s'obtient aussi par la simple observation des anneaux colorés de Newton, où c'est le bleu qui, le premier, entoure le centre noir.

Mais si l'on augmente l'épaisseur de la lamelle, alors le violet est également moins réfléchi, mais une autre couleur arrivera à sa place au maximum de réflexion, et la coloration de la lumière sera entièrement changée. A mesure que l'épaisseur de la lamelle augmente, on obtient et dans le même ordre la même série de teintes que dans les anneaux colorés de Newton, savoir: bleu, blanc, blanc-jaunâtre, orangé, rouge, violet, bleu, etc., etc.

Ces résultats s'appliquent également à l'atmosphère, en remplaçant les lamelles par les vésicules de vapeur. Ces vésicules, qui même par un temps clair nagent dans l'air, seront excessivement minces, et nous supposerons que leur épaisseur soit au plus le quart de la longueur d'onde du violet. Il en résultera nécessairement la couleur bleue de la lumière réfléchie du ciel, qui sera d'autant plus sombre que l'air sera plus serein, c'est-à-dire que les vésicules seront plus fines.

Mais, si l'air devient plus humide et que les vésicules n'aient plus le dégré de finesse que nous venons d'exiger, alors on serait peut-être tenté de croire que le ciel, au lieu du bleu, présentera tour à tour la série des couleurs qui restent; mais ceci n'a point lieu. Pendant que par l'humidité de l'air les vésicules déjà existantes augmentent en épaisseur, il se forme en même temps de nouvelles vésicules fines, de sorte que l'on ne saurait jamais donner une épaisseur déterminée aux vésicules: on peut tout au plus assigner une valeur-limite qui n'exclura pas les valeurs plus petites. Si cette valeur-limite dépasse la grandeur ci-dessus admise, alors à côté de beaucoup de lumière bleue il y aura aussi un peu de lumière blanche réfléchie par les vésicules. Quand l'épaisseur-limite croîtra, l'on

Digitized by Google

obtiendra : du bleu, du blanc, du blanc-jaunâtre ; ensuite du bleu, du blanc, du blanc-jaunâtre, de l'orangé, etc., etc. Donc toujours de nouvelles couleurs seront ajoutées aux anciennes, sans que ces dernières se perdent, et le mélange de toutes ces couleurs ne peut qu'ajouter au bleu primitif un peu plus ou moins de blanc, ce qui lui donne un air laiteux qui s'approche de plus en plus du blanc parfait.

» Ceci s'accorde parfaitement avec la marche effective des phénomènes dans l'atmosphère. Déjà par un temps clair le ciel à l'horizon paraît ordinairement un peu blanchâtre, parce que l'œil, abstraction faite de la plus grande masse d'air qu'il a devant lui, est forcé de regarder le long et très-près de la surface terrestre, où probablement les vésicules sont plus épaisses qu'à une plus grande hauteur. Quand l'air se trouble, ce blanc s'étend, et le ciel en général devient plus pâle.

» Dans les brouillards et les nuages il faut admettre, pour l'épaisseur des vésicules, une valeur-limite beaucoup plus considérable; mais il ne faut pas attendre, avec Newton, que les nuages puissent produire par réflexion des couleurs déterminées d'un ordre supérieur: car il serait tout à fait contraire à la nature de supposer que toutes les vésicules ont la même épaisseur. Au contraire, il y aura une immense variété de vésicules, et par conséquent les nuages, éclairés par la lumière blanche, devront paraître blancs, comme cela a effectivement lieu.

» Passons maintenant à l'examen de la lumière *transmise*. Comme elle est complémentaire de la lumière réfléchie, il en résulte que la couleur, en tant que prenant généralement son origine dans le bleu, doit être orangée; mais quant à ce qui concerne son mélange avec la lumière blanche, il y a une différence essentielle à constater.

» Par réflexion à la surface d'une seule lamelle, quelques couleurs peuvent être complétement éteintes, d'autres être très-affaiblies, de sorte que la lumière doit paraître fortement colorée. Cependant cette coloration est en réalité peu considérable; elle augmente lentement sous des incidences très-obliques, et il faut que l'incidence soit bien grande pour produire une forte coloration.

» Si nous considérons en particulier une vésicule de vapeur, par sa forme même elle laisse place à tous les angles d'incidence possibles.

Digitized by Google

Mais la quantité de lumière, comme il est facile de s'en convaincre, qui correspond aux angles les plus grands ou les plus petits, est proportionnellement très-petite. Tout dépendra donc principalement des incidences moyennes, qui elle-mêmes ne produisent qu'une coloration très-faible : par conséquent, la lumière totale transmise par une vésicule sera très-faiblement colorée. C'est ce qui explique pourquoi le soleil, quand il s'approche du zénith, alors que ses rayons traversent l'atmosphère par le chemin plus court, nous paraît d'autant plus blanc que nous n'avons aucune lumière absolument blanche qui puisse servir de terme de comparaison. Mais quand il s'approche de l'horizon et que ses rayons, durant leur longue traversée, rencontrent un très-grand nombre de vésicules, la couleur orangée commence à augmenter.

» La circonstance, enfin, qu'au coucher du soleil non-seulement le disque solaire, mais aussi une grande partie de l'horizon et même des nuages plus élevés, paraissent de couleur orangée, s'explique facilement et sans que l'on ait besoin d'attribuer ces couleurs à la réflexion. Tout objet qui est blanc dans la lumière blanche paraîtra orangé dans la lumière orangée ; la même chose a lieu pour les nuages et jusqu'à un certain point pour l'horizon, qui, comme nous venons de le dire, est blanchâtre pendant le jour.

» L'explication de la couleur bleue du ciel, de l'aurore et du rouge de ciel au coucher du soleil, se déduit donc de l'hypothèse des vésicules de vapeur, d'une manière si simple et si naturelle à la fois, que nous n'hésitons pas à chercher dans cette hypothèse la véritable cause des phénomènes en question, ainsi que d'autres physiciens l'ont fait. Mais après avoir démontré dans le Mémoire précédent que, pour d'autres raisons, elle est presque nécessaire, la facilité avec laquelle elle peut servir à l'explication de phénomènes aussi importants nous semble être une confirmation de la vérité. »

Nous empruntons la notice suivante à un excellent recueil, l'*Annuaire météorologique de France*, pour l'année 1848, publié par MM. Martins, Haeghens et Bravais. Cet ouvrage, que nous recommandons vivement aux physiciens amateurs du progrès, sera définitivement continué et fera époque dans l'histoire de la météorologie.

Digitized by Google

Notice sur l'arc-en-ciel, suivie d'instructions sur l'observation de ce phénomène, par M. A. BRAVAIS.

« L'arc-en-ciel ordinaire consiste en une série de zones ou bandes juxtaposées, colorées des teintes connues du spectre solaire, depuis le rouge jusqu'au violet, et situées dans la région du ciel opposée au soleil. Ces bandes dessinent sur la sphère céleste des petits cercles dont le centre commun, situé presque toujours au-dessous de l'horizon, est diamétralement opposé à l'astre. La bande rouge a le rayon le plus considérable (42° 20′) ; elle est par conséquent située sur le bord convexe, ou extérieur de l'arc ; la bande violette a le rayon le moins considérable (40° 30′) ; elle est située à l'intérieur. Les autres couleurs sont échelonnées entre ces deux extrêmes.

» L'aire sur laquelle se projette l'arc est beaucoup plus lumineuse du côté interne ; l'espace extérieur est sombre, quelquefois presque noir ; l'espace intérieur, au contraire, vient se fondre plus ou moins avec la bande violette. C'est là que se montrent souvent des bandes colorées, alternativement rougeâtres et vertes, qui bordent le violet vers son côté interne ; on les a désignées sous le nom d'*arcs surnuméraires*.

» Outre ce premier arc, on en voit assez souvent un second, moins éloigné du soleil : il est parallèle au précédent, c'est-à-dire que les bandes qui le composent ont aussi pour centre commun le point de la sphère céleste opposé au soleil ; la bande rouge est distante de 50° 20′ de ce point ; la bande violette en est plus écartée de 53° 45′ : dans ce nouvel arc, que les physiciens ont désigné sous le nom d'*arc-en ciel de second ordre*, les couleurs sont disposées en sens inverse de celles de l'*arc de premier ordre ;* l'aire sombre est intérieure, et l'aire demi-claire est à l'extérieur de cet arc : l'espace entre les deux arcs paraît ainsi notablement moins lumineux que le reste du ciel. M. Brewster remarque que, si l'espace extérieur à cet anneau obscur offre une lumière sensible, la teinte dans l'intérieur de cet anneau est d'un pourpre sombre. Au coucher du soleil, si l'atmosphère est illuminée en rouge-jaunâtre dans le voisinage de l'astre, l'espace situé en dedans du premier arc et au dehors du second arc offre cette teinte rouge ; mais alors, d'après Brandes, cette teinte rouge ne

Digitized by Google

se retrouve pas dans l'intérieur de l'espace qui sépare les deux arcs. L'arc de second ordre offre aussi quelquefois des bandes surnuméraires alternativement rouges et vertes.

» Enfin on voit quelquefois à 40° du soleil un troisième arc coloré, mais très-faible, dont le rouge occupe le bord le plus éloigné de l'astre : on le nomme l'*arc de troisième ordre ;* c'est un phénomène excessivement rare.

» L'arc-en-ciel ordinaire est quelquefois remplacé par un arc qui occupe à peu près la même région du ciel ; mais il en diffère, d'abord en ce que son rayon est plus petit, et variable entre 34° et 42°, ensuite parce qu'il est blanc, complétement ou presque complétement dépourvu de toute espèce de coloration : on le nomme *arc-en-ciel blanc.* On a remarqué qu'il ne se formait jamais que sur des nuages placés à très-petite distance de l'observateur.

» Parmi les physiciens, M. Biot est le premier qui ait soumis à l'analyse la lumière de l'arc-en-ciel (*Moniteur* de mars 1811, p. 283) : il a reconnu que cette lumière était presque complétement polarisée suivant un plan passant par le centre du soleil, et M. Brewster a confirmé cette découverte.

» Lorsqu'on a développé les conséquences de la théorie de Descartes, on voit qu'il doit exister non-seulement des arcs de premier ordre produits par une seule réflexion interne, des arcs de second ordre produits par deux réflexions internes, mais encore des arcs de troisième et quatrième ordre dus aux rayons qui ont subi trois, quatre réflexions à l'intérieur.

» Appelons D_n la déviation du rayon du milieu du spectre qui produit l'arc de $n^{ième}$ ordre. Cette déviation est la somme des déviations que le rayon subit à chaque réfraction ou réflexion ; si le nombre des réflexions est considérable, elle peut surpasser 180° et même 360°. On démontre qu'elle peut être représentée par la formule suivante :

$$D_n = (n + 1)\, 83^\circ\, 4',8 - \frac{50^\circ\, 46'}{n + 1}.$$

» Cette formule n'est pas rigoureuse, surtout pour les arcs de premier et de deuxième ordre : mais elle donne, avec une exactitude très-suffisante, la position des arcs d'ordre supérieur au second. Pour cela, on retranchera de D_n autant de fois 360° qu'il peut y être

Digitized by Google

contenu, et si le reste surpasse 180°, on en prendra le complément à 360° : ce sera la distance de l'arc au soleil : on trouve ainsi :

Distance du milieu de l'arc au soleil	=	40° 18′	3e ordre,
— —	=	45° 15′	4e ordre,
— —	=	130° 1′	5e ordre, etc.

» L'arc de troisième ordre peut être obtenu assez facilement au moyen de la sphère liquide de Descartes, en recevant la lumière émergente sur un écran convenablement disposé ; mais je n'ai pu obtenir les arcs d'ordres supérieurs par ce même procédé. On cite quelques cas rares d'arcs de troisième ordre vus par des observateurs, savoir (les 3 et 5 septembre 1759), par Bergmann, qui fixe à 42° leur distance au soleil ; par Reynier, et enfin par M. Kaemtz dans la trombe d'eau de la chute du Rhin à Schaffhouse. (Il faut que le fond sur lequel se projette l'arc soit très-noir : même alors on ne distingue guère que le rouge et le jaune de l'arc.) Comme son éclat est très-affaibli par les trois réflexions des rayons, comme sa largeur est déjà notablement plus grande que celle des arcs de premier et de second ordre, ce qui en diminue l'éclairement, enfin comme il se projette en général sur une portion du ciel assez vivement lumineuse à cause de la proximité du soleil, on ne doit pas s'étonner de la rareté de l'apparition de ce phénomène.

» A plus forte raison l'arc de quatrième ordre ne saurait être aperçu. Toutefois on peut modifier le procédé expérimental, et obtenir artificiellement tous ces arcs de la manière suivante. On reçoit un faisceau de rayons horizontaux sur un cylindre d'eau à axe vertical ; ce cylindre peut être le résultat de l'écoulement de l'eau d'un réservoir, et c'est le procédé suivi par M. Babinet ; mais il est plus commode d'enfermer le liquide dans un cylindre de verre, ce qui permet d'opérer sur des cylindres de plus grand diamètre et sur une plus grande quantité de lumière. Ce procédé ne saurait donner des anneaux lumineux complets, mais seulement des fragments d'arcs ou des taches lumineuses, situés dans le plan horizontal qui contient l'axe rendu horizontal du faisceau incident.

» Avec un cylindre de verre d'un centimètre de diamètre, Fresnel est parvenu à apercevoir jusqu'à quatorze fragments d'arcs d'ordres successifs. M. Babinet a soumis à la même épreuve des

Digitized by Google

cylindres de substances douées de la double réfraction ; les résultats remarquables auxquels il est arrivé sont consignés dans le Mémoire qu'il a publié à ce sujet dans les comptes-rendus de l'Académie des Sciences pour 1838.

» On a fait quelques essais pour déterminer par la théorie les degrés d'éclairement des arcs de divers ordres ; mais ces essais ne peuvent être que très-inexacts, attendu qu'il n'a pas été tenu compte ni de la grandeur du rayon de la zone illuminée, ni de la séparation croissante des couleurs à mesure que l'ordre des arcs devient plus élevé, ni de la polarisation de la lumière qui traverse la goutte. Le calcul exact n'offrirait pas d'ailleurs un grand intérêt, par suite de la difficulté d'obtenir *à posteriori* les rapports numériques exacts entre les ordres de clarté des divers arcs.

» Tout le monde sait que l'arc-en-ciel se forme pendant la pluie, et le plus souvent vers la fin d'une averse, lorsque le ciel, commençant à s'éclaircir, laisse pénétrer les rayons solaires jusqu'à la surface inférieure des nuages. Mais l'arc-en-ciel peut se former dans une foule d'autres conditions, dont plusieurs méritent d'être signalées.

» Ainsi on cite des exemples d'arcs-en-ciel sans pluie, d'arcs-en-ciel se dessinant sur un ciel en apparence complétement serein. M. Kaemtz rapporte ce fait dans le troisième volume de sa *Météorologie*.

» Les gouttes de rosée produisent souvent l'apparence d'un arc-en-ciel étendu sur le sol, peu après le lever du soleil ; cet arc terrestre offre alors l'aspect d'une immense parabole, et l'on croirait que la largeur de l'anneau est beaucoup plus considérable vers l'horizon qu'au point le plus rapproché qui forme le sommet de la parabole ; mais il est facile de s'assurer par des mesures directes que c'est là une pure illusion ; l'arc conserve réellement sa forme circulaire, et la largeur que lui assigne la théorie. L'arc-en-ciel est très-souvent produit par la brume de nos jets d'eau, et mieux encore par celle qui s'échappe des cascades. Si le soleil a une position convenable, et surtout s'il n'est pas trop élevé au-dessus de l'horizon, on peut voir l'arc-en-ciel formant un cercle complet dont le point le plus bas est aux pieds même de l'observateur. Dans ce cas l'arc paraît elliptique ; on croirait que son diamètre vertical est beaucoup plus grand que son

Digitized by Google

diamètre horizontal ; il n'en est rien, nos sens sont encore ici le jouet d'une illusion très-fréquente qui nous porte à exagérer les éléments verticaux d'un objet par rapport à ses éléments horizontaux. Dans les cas que nous venons de citer, l'ar-en-ciel paraît extrêmement rapproché du spectateur.

» M. de Tessan a vu l'arc-en ciel se dessiner sur les en-brins de la mer, c'est-à-dire dans les gouttelettes que le choc du vent ou de la pluie arrache au sommet des lames. L'arc-en-ciel se forme aussi quelquefois sur des brumes basses, même au-dessous du niveau de l'œil ; mais alors il change le plus souvent de nature, et perd les vives couleurs qui le caractérisent ; je reviendrai sur cet état remarquable de l'arc.

» La nappe pluvieuse qui donne naissance à l'arc n'a pas besoin d'être fort épaisse. J'ai vu se former un arc bien distinct sur une nappe de deux à trois décimètres d'épaisseur : le vent chassait la poussière aqueuse soulevée par l'une des roues d'un bateau à vapeur à travers la fenêtre du salon des passagers. Dans ces conditions, je voyais, à quelques décimètres devant moi, se former l'arc de premier ordre et l'arc de second ordre ; en outre, je voyais avec l'œil droit, plus éloigné que le gauche de l'ouverture par laquelle pénétraient à la fois les rayons solaires et les en-brins des palettes, la partie gauche d'un troisième arc qui était évidemment une répétition de l'arc-en-ciel de premier ordre. Il est clair que ce dédoublement de l'arc-en-ciel en arc de l'œil droit et arc de l'œil gauche ne peut se faire que si la distance des gouttes à l'œil est extrêmement petite : ce fait me paraît digne de fixer l'attention des physiciens et des physiologistes.

» On peut reproduire à volonté l'arc-en-ciel, en projetant en l'air une gorgée d'eau, laquelle se divise en gouttelettes, en passant à travers la commissure des lèvres de l'opérateur ; Mariotte indique ce procédé dans son Traité de l'arc-en-ciel ; mais on arrive rarement par cette voie à obtenir l'arc de second ordre, à moins d'opérer dans une chambre dont la paroi opposée au soleil soit tendue de noir.

» On a vu souvent des arcs-en-ciel lunaires ; ils sont ordinairement pâles et sans couleur. Cependant on en a vu souvent de colorés. Sennert l'a vu avec des couleurs aussi belles que celles de l'arc solaire. Il est nécessaire, pour que l'arc-en-ciel lunaire se voie nettement,

Digitized by Google

qu'il se projette sur un fond sombre, par exemple, sur un nuage noir situé derrière. Mongez a vu, le 8 juin 1778, un arc-en-ciel lunaire se dessiner sur les gouttes de rosée d'un champ de lin.

» Une des variétés les plus remarquables de l'arc-en-ciel est l'arc produit par l'image réfléchie du soleil. Qu'une nappe d'eau parfaitement calme répercute les rayons solaires, en les dirigeant vers un nuage favorablement conformé pour produire l'arc-en-ciel, il se formera un autre arc de premier ordre, de 42° de rayon, et dont le centre sera aussi élevé au-dessus de l'horizon que le soleil l'est de son côté. Le point culminant de l'arc par réflexion sera donc séparé du sommet de l'arc direct d'une distance angulaire égale à deux fois la hauteur du soleil au-dessus du plan de l'horizon. Si le soleil est élevé et la nappe d'eau étendue, il est visible que ce nouvel arc peut couper l'arc-en-ciel de premier ordre, et l'arc-en-ciel de second ordre.

» Si la nappe d'eau réfléchissante est de petite dimension, cet arc extraordinaire doit être fort incomplet, et offrir la forme d'un simple tronçon lumineux, plus ou moins élevé au-dessus des deux autres arcs.

» Si le soleil est près de l'horizon, et si la surface de la nappe d'eau est légèrement agitée, l'arc par réflexion prend une apparence remarquable; sa partie culminante disparaît; les parties latérales restent seules visibles sous forme de colonnes verticales tangentes aux parties droite et gauche de l'arc ordinaire. L'image du soleil par réflexion est alors fort alongée dans le sens vertical; l'arc par réflexion est l'enveloppe d'une série d'arcs de premier ordre ayant leur centre dans le vertical du soleil; ces arcs se superposent presque l'un à l'autre dans les parties voisines de l'horizon; mais ces arcs se séparent les uns des autres vers leurs parties culminantes, et la dissémination de clarté, résultat de cette séparation des divers arcs, s'oppose à leur visibilité dans cette partie du ciel.

» Un seul cas échappe à l'explication précédente: c'est celui de l'observation faite par le chanoine Étienne, à Chartres, le 10 août 1665, par une hauteur du soleil égale à 6°. L'arc extraordinaire avait son centre *en dehors* du vertical du soleil, et paraissait être une portion de grand cercle; il coupait obliquement l'arc ordinaire vers le point de culmination de ce dernier arc (*Journal des Savants* pour l'année 1666). Je ne puis me rendre aucun compte satisfaisant d'une disposition aussi singulière.

Digitized by Google

» *Arc-en-ciel blanc.*—Lorsque l'arc-en-ciel se forme sur un brouillard, il paraît blanc et sans couleurs; tout au plus offre-t-il à l'extérieur un très-léger liséré rougeâtre. Quelle est la cause de cette dégénérescence singulière? La plupart des météorologistes ont d'abord supposé que l'absence de couleur était due au peu de lumière de cet arc, et ont attribué cette faiblesse de la lumière aux petites dimensions des globules des brouillards, comparativement aux dimensions des gouttes de pluie. Il est très-vrai qu'à parité numérique de globules dans un espace déterminé, et à une distance donnée de l'observateur, l'éclat doit croître avec le diamètre des globules: mais en appliquant cette loi, il faut tenir compte, 1° du nombre des globules, ou, si l'on veut, du rapport existant entre les diamètres des globules et les moyennes distances de l'un d'eux à ses voisins; 2° de l'épaisseur de la couche de globules traversée par les rayons visuels de l'observateur. Si le nuage est riche en globules, et d'une épaisseur suffisante, ces conditions doivent pouvoir compenser l'effet des petites dimensions de ces globules, de sorte que la blancheur constante de l'arc qui se forme sur la brume n'est pas complétement expliquée. Mais il y a plus: le rayon de l'arc blanc, toutes les fois qu'il a été mesuré, a paru plus petit, de un ou plusieurs degrés, que le rayon de l'arc coloré, lequel, comme on le sait, est de 42°, pour la lumière rouge. Brandes avait pensé que cet arc blanc se produisait dans des sphères de glace; mais cette opinion est insoutenable: 1° parce qu'on le voit le plus souvent par des températures fort supérieures à zéro; ainsi le 8 mai 1838, arc blanc vu par M. de Tessan, la température de l'air étant + 20°, sur une brume basse; le 27 février 1837, par le même observateur, la température étant environ + 16°, et l'arc se projetant entre la mer et l'œil de l'observateur; 2° parce que le rayon de l'arc devrait, dans cette hypothèse, surpasser 42°, au lieu d'être inférieur à ce nombre.

» M. Kaemtz a pris le parti de considérer cet arc comme un arc ordinaire formé dans de petites gouttelettes, et d'attribuer les différences observées dans les mesures aux erreurs inhérentes à ce genre d'observations.

» On trouve dans le VI° volume des *Transactions de Cambridge* un mémoire sur l'arc-en-ciel, dans lequel M. Potter attribue également à la petitesse des gouttes l'apparence grise de l'arc-en-ciel qui se forme

Digitized by Google

sur les brouillards. La disparition du violet, du bleu et même du vert, pourrait, il est vrai, s'expliquer, quoique assez difficilement, par cette circonstance; mais, même en admettant que l'intensité de la lumière soit la même sur l'arc et sur la surface de l'aire qui lui est intérieure, le rouge, l'orangé, le jaune, devraient encore continuer à paraître, comme cela a lieu lorsqu'on regarde à travers un prisme les bords d'un rectangle blanc : ainsi l'hypothèse faite par M. Potter ne pourrait, même en lui faisant des concessions évidemment beaucoup trop larges, faire disparaître que les couleurs de l'extrémité violette du spectre : cette hypothèse est donc insuffisante pour expliquer les faits observés.

» En réunissant un nombre considérable d'observations, je suis parvenu à démontrer que la diminution du diamètre de l'arc est bien réelle, et que son rayon est toujours plus petit que celui de l'arc-en-ciel, d'une quantité variable de 0° à 8°, de sorte que sa valeur oscille, suivant les cas, entre 34° et 42°. J'ai fait voir que le phénomène de l'arc blanc est dû à des gouttes creuses dont le rayon extérieur est dans un certain rapport de grandeur avec le rayon interne. En prenant le rayon de la sphère intérieure égal à 1, et supposant que la goutte s'accroisse sans cesse à l'extérieur, l'arc blanc pourra commencer à se montrer dès que le rayon externe sera devenu égal à 1,38 ; son rayon sera alors petit, de 34° environ, et sa lumière très-faible. L'épaisseur de la couche d'eau venant à augmenter, le rayon de l'arc et son éclat iront en croissant : lorsque le rayon externe sera devenu égal à 1,43, le rayon de l'arc sera de 39° 20′, et il commencera à montrer à l'extérieur un léger liséré rougeâtre. La goutte continuant à croître, l'arc blanc passera au jaune-rougeâtre sale, et se rapprochera de plus en plus, par ses dimensions et son aspect, de l'arc-en-ciel ordinaire; cette transformation graduelle sera complétement effectuée dès que le rayon extérieur aura atteint la valeur 1,55 ; au delà de cette valeur, l'arc-en-ciel coloré sera désormais le seul à se montrer.

» Cette théorie rend un compte exact de toutes les circonstances du phénomène. On en conclut que, si l'arc-en-ciel ne se montre pas habituellement sur les nuages ordinaires, éclairés par le soleil, et éloignés de 138° du centre de l'astre, c'est que ces nuages sont composés de particules glacées, ou d'eau à l'état *vésiculaire*, la couche

Digitized by Google

qui compose ces vésicules ayant une épaisseur nécessairement inférieure aux $\frac{38}{100^{es}}$ du rayon interne. On en conclut aussi que, dans les brouillards humides et bas, dans les brumes qui se forment au sommet des montagnes, dans celles des mers polaires, l'épaisseur de la couche est proportionnellement plus grande, et peut atteindre la moitié de la grandeur du rayon ; c'est sans doute le poids considérable dû à cette épaisseur de la couche qui s'oppose à l'ascension de ces brumes vers les régions supérieures de l'atmosphère. Il reste seulement à expliquer pourquoi l'arc-en-ciel blanc ne paraît pas précéder l'arc-en-ciel ordinaire, au moment où un nuage composé d'eau vésiculaire est sur le point de se résoudre en pluie.

» Presque toutes les observations de l'arc blanc faites dans nos climats appartiennent aux mois d'août, septembre et octobre.

» Une seule fois, cet arc a été vu entouré de son arc-en-ciel de second ordre ; mais les couleurs du spectre étaient visibles sur l'arc de premier ordre, quoique très-faiblement, ce qui permet de ranger cette apparition parmi celles de l'arc coloré ordinaire : cette dernière observation est de Scoresby.

» *Arcs surnuméraires.* — J'ai déjà dit en quoi consistaient ces arcs : ce sont des bandes alternativement rouges et vertes qui bordent à l'intérieur l'arc de premier ordre.

» Ces arcs ne paraissent pas toujours. Lorsqu'ils se montrent, le nombre des séries est très-variable ; quelquefois on ne voit qu'une bande rougeâtre en dessous du violet, ou même superposée au violet, qui prend alors une teinte purpurine ; quelquefois on voit jusqu'à cinq et six séries de couleurs alternativement rouges et vertes. La cause de ce phénomène est aujourd'hui bien connue, et l'explication en a été donnée par l'illustre Young : c'est un phénomène d'interférence qui ne peut se produire que lorsque les gouttes ont sensiblement le même diamètre : il est dû aux rayons voisins des rayons efficaces de l'arc-en-ciel, et qui traversent la goutte dans des conditions telles que leur déviation diffère peu de la déviation minimum. A toute déviation donnée un peu supérieure à la déviation minimum correspondent deux rayons distincts l'un à incidence un peu plus grande que l'incidence qui donne le minimum de déviation, l'autre à incidence un peu plus petite : ces rayons ayant parcouru, depuis

Digitized by Google

leur départ de l'astre, deux routes légèrement inégales, peuvent interférer, et produire des alternatives d'ombre et de lumière dans la couleur qui caractérise ces rayons. Les franges alternativement sombres et obscures qui résultent de ces interférences pour chacune des couleurs du spectre, en se superposant l'une à l'autre sur le fond du ciel, produisent des bandes analogues aux anneaux colorés des lames minces. Les largeurs de ces anneaux dépendent du diamètre des globules.

» Les conséquences de cette théorie sont les suivantes. La lumière de l'arc-en-ciel étant supposée homogène, ce qui peut se faire en éliminant, par un verre coloré, ou du moins en pensée, toutes les couleurs, à l'exception de l'une d'entre elles,

» 1° Le premier anneau lumineux se forme dans la position indiquée par la théorie de l'arc-en-ciel, savoir, à 42° 22′ pour le rouge, 40° 46′ pour le violet, etc. ;

» 2° Le second anneau lumineux, moins brillant, se forme en dedans du précédent, à une distance angulaire égale à

$$1,394\left(\frac{\lambda}{R}\right)^{\frac{2}{3}};$$

dans cette formule, λ est la longueur d'ondulation ; $0^{mm},00062$ pour le rouge ; $0^{mm},00042$ pour le violet, et $0^{mm},00052$ pour les rayons moyens (vert) ; R est le rayon de la goutte.

» On en conclut que dans le rouge le premier intervalle sera : pour $R = 1$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{27}$, de millimètre, 0° 25′, 1° 40′, 3° 45′ : dans le violet, pour les mêmes valeurs de R, 0° 19′, 1° 17′, 2° 54′.

» Ainsi, pour $R = \frac{1}{8}$ de millimètre, le premier anneau rouge intérieur à l'arc vient se projeter sur le violet et lui donne la teinte purpurine ;

» 3° En prenant pour unité l'intervalle entre le premier et le second maximum, les grandeurs des autres intervalles sont exprimées pour la même couleur par les nombres :

2e intervalle 0,587	4e intervalle 0,440
3e intervalle 0,493	5e intervalle 0,404

Digitized by Google

» La distance angulaire de l'anneau lumineux de l'ordre m au premier anneau suit la loi exprimée par la formule $(m-1)^{\frac{2}{3}}$;

» 4° Les arcs surnuméraires doivent exister dans les arcs-en-ciel de deuxième et troisième ordre, du côté du violet : toutes choses étant d'ailleurs égales, ils sont plus larges dans l'arc de second ordre que dans l'arc de premier ordre, plus larges dans celui de troisième ordre que dans celui de second, et ainsi de suite.

» Il résulte de la théorie précédente que, si le diamètre des globules est moindre que $0^{mm},25$, les arcs surnuméraires ne pénétreront pas dans le violet, et qu'il y aura au-dessous du violet un espace sombre, qui le séparera des arcs surnuméraires : mais ce phénomène a été très-rarement observé, probablement parce que les arcs-en-ciel engendrés par des gouttes d'un si petit diamètre donnent trop peu de lumière pour que les couleurs soient bien vives.

» M. Airy a récemment modifié la théorie de Young ; il a pris pour point de départ l'idée qui a servi à Fresnel pour l'explication de la diffraction, et a admis à interférer non-seulement les deux rayons lumineux qui viennent géométriquement se couper en un point donné de la sphère dont la goutte est le centre, et dont la surface contient l'œil du spectateur, en suivant les lois ordinaires de la réflexion et de la réfraction, mais aussi les rayons voisins menés des différents points de la surface de l'onde lumineuse qui vient d'abandonner la goutte d'eau. M. Airy trouve alors que le lieu du maximum de clarté, dans une couleur homogène assignée d'avance, ne coïncide pas avec le lieu géométrique de la déviation minimum, mais se trouve placé plus en dedans, à une plus grande distance du soleil : il existe sur le côté concave de l'arc des franges dont les maxima et minima vont en s'écartant du soleil. Toutefois, les maxima et minima de lumière donnés par la théorie de M. Airy se rapprochent de plus en plus des maxima et minima indiqués par la théorie de Young, à mesure que l'on passe à des anneaux surnuméraires dont le numéro d'ordre est plus élevé.

» Par conséquent, la différence des résultats des deux théories n'est pas très-grande dans l'application, à part le déplacement du premier maximum, à part aussi la diminution de grandeur qui en résulte dans le rayon de l'arc-en-ciel ordinaire, diminution qui ne doit pas avoir lieu dans la théorie de Young.

Digitized by Google

» Sur l'arc-en-ciel de second ordre, ce déplacement se fait en sens inverse, et le rayon de l'arc surpasse le rayon déduit de l'ancienne théorie de la déviation minimum. M. Miller a vérifié ces conséquences de la théorie de M. Airy sur des arcs-en-ciel artificiels ; il a trouvé que l'arc-en-ciel de premier ordre avait un effet diminué de 0°24′, 0°23′ et 0°32′, la diminution indiquée par la théorie étant 0°30′, 0°26′, 0°34′. Le rayon de l'arc de deuxième ordre surpassait l'angle déduit de la déviation minimum de 0°51′, 0°38′, 0°59′ : la théorie d'Airy donnait 0°53′, 0°46′, 1°1′.

» L'écartement angulaire qui sépare les deux arcs doit donc être notablement plus grand que l'ancienne théorie ne l'indique, et il ne sera pas hors de propos de signaler cette circonstance aux observateurs. La différence devra être surtout sensible, si les arcs surnuméraires ont une grande largeur et sont nettement séparés de l'arc principal.

» Tout récemment, M. Galle a mesuré avec soin le rayon de l'arc de premier ordre, et il a conclu, de dix-sept mesures prises dans quatre observations différentes, que la distance du soleil à la partie moyenne et la plus brillante de l'arc avait été de 138°27′, au lieu de 138°6′; la différence de 21′ est dans le sens assigné par la théorie de M. Airy. En nommant toujours R le rayon de la goutte, λ la longueur d'ondulation propre à la couleur que l'on considère, ε l'écart entre la position géométrique et la position physique de l'arc, on doit avoir entre ces trois quantités la relation :

$$R = 0{,}31\,\lambda\,(\cot\varepsilon)^{\frac{3}{2}};$$

dans le cas actuel, on obtient, pour le diamètre moyen des gouttes génératrices des arcs vus par M. Galle, $0^{mm},63$.

» Comme conséquence de l'accroissement des gouttes pendant leur chute, on doit trouver que la largeur de l'anneau sombre qui sépare les arcs de premier et de deuxième ordre est plus considérable au sommet de cet anneau que vers l'horizon.

» Revenons maintenant à la description des arcs surnuméraires. Ordinairement on voit le rouge succéder immédiatement au violet, ou même se mêler avec lui : c'est ce qui a eu lieu dans un grand nombre d'observations rapportées par les auteurs, notamment dans

Digitized by Google

l'observation de Langwith, insérée dans le n° 375 des *Transactions philosophiques*.

» On trouve dans l'ouvrage de Zahn les observations suivantes :

» Le 6 juin 1686, arc-en-ciel avec l'ordre suivant dans ses couleurs « rouge, jaune, vert, bleu, violet, rouge. » Le rouge surnuméraire est ici extérieur au violet.

» Le 18 mai 1686, l'ordre des couleurs a été « rouge, vert, bleu, pourpre, jaune. » Le premier rouge surnuméraire s'est ici superposé au violet.

» Le 21 mai 1686, on a eu « rouge, jaune, vert, puis rouge sombre. » Le rouge surnuméraire était encore plus rapproché de la partie médiane de l'arc, et devait coïncider avec le bleu.

» Le 5 juin 1834, M. Potter vit sous l'arc ordinaire trois bandes pourpres ; la première occupait la place du violet et résultait de la superposition du premier rouge surnuméraire et du violet de l'arc ; la deuxième provenait, suivant M. Potter, du mélange du premier violet surnuméraire avec le rouge et peut-être aussi l'orangé du second arc surnuméraire.

» Mariotte avait déjà remarqué les phénomènes vus par Langwith ; il avait vu jusqu'à quatre rangs de couleurs supplémentaires dans l'arc-en-ciel, et avait fort bien observé que les largeurs des bandes allaient en diminuant à mesure que l'on se rapprochait de leur centre commun. Mariotte ajoute, et cette remarque n'est pas sans importance, « que quand on ne voit qu'un rang de couleurs dans l'arc-en-ciel intérieur, on ne voit point la bande de pourpre, bande violette, dans l'arc-en-ciel extérieur, et que quand on voit cette bande de pourpre, on voit deux ou trois rangs dans l'arc intérieur. » Il est cependant probable que cette remarque de Mariotte n'est exacte que dans la majorité des cas.

» Muncke a vu l'ordre suivant : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, violet, rouge, orangé, jaune, vert, bleu, violet, de sorte que l'arc était complétement dédoublé ; mais l'arc extraordinaire n'avait que les $\frac{2}{3}$ de la largeur de l'arc ordinaire. On satisfait assez bien à ces conditions en supposant $R = 0^{mm},1$.

» Bouguer a fait au Pérou des observations analogues, dans lesquelles le rouge du nouvel arc était bien séparé du violet de l'arc ordinaire ; quelquefois il croyait apercevoir une troisième série de cou-

Digitized by Google

leurs au-dessous des deux précédentes. Cette observation indique aussi des gouttes d'environ un cinquième de millimètre de diamètre.

» Mais la grande majorité des observations semble se rapporter à des gouttes d'un diamètre plus considérable; ordinairement le premier rouge surnuméraire est noyé dans l'arc, où il va fausser la teinte de l'une des bandes de la partie violette: il importe donc dans les descriptions d'arcs surnuméraires d'indiquer avec soin toutes les circonstances qui doivent décider si le premier rouge aperçu au-dessous de l'arc est le rouge du second ou du troisième anneau; le plus souvent, c'est le rouge du troisième anneau qui se dégage le premier de l'arc ordinaire.

» On peut expliquer par cette théorie la bande vert-jaune-serin que M. de Tessan signale à la partie interne des arcs-en-ciel des régions équatoriales. Cette teinte me paraît être la bordure nécessaire des arcs-en-ciel, lorsque les gouttes sont de grand diamètre, par exemple, d'un millimètre environ, et lorsque l'égalité des diamètres des gouttes est peu rigoureuse. Alors on a, au-dessous du violet, un mélange de toutes les couleurs du spectre, moins le violet toutefois, car, dans cette partie qui correspond à la partie obscure du premier intervalle de la série des anneaux violets, le violet seul doit manquer. La couleur complémentaire du violet étant le jaune, c'est la teinte jaune qui doit prédominer, et cette teinte mêlée avec le bleu du ciel a dû donner la teinte jaune-vert-serin signalée par M. de Tessan.

» Il reste cependant quelques difficultés dans l'application de la théorie précédente à certaines observations. Ainsi, d'après Legentil, on pourrait voir au-dessous de l'arc ordinaire un arc bleu, suivi d'un espace sans couleurs et d'un second arc bleu (observation du 18 novembre 1756), ou un arc vert séparé du violet par un espace sans couleurs (observation du 27 juin 1756). Ce serait certainement un travail intéressant que de rechercher dans les recueils scientifiques tous les arcs-en-ciel à ordre anormal dans les teintes, lesquels paraissent dus généralement aux franges d'interférence des diverses couleurs du spectre.

» Il est cependant une modification que je dois signaler ici, parce qu'elle tient à une autre cause: c'est la disparition du violet et du bleu dans les parties basses des arcs, lorsque le soleil est près

Digitized by Google

de l'horizon. Cette circonstance tient, suivant les observations d'Hassenfratz, à ce que le violet et le bleu disparaissent alors par absorption, pendant le trajet des rayons solaires à travers une couche épaisse d'air atmosphérique. Mentzelius, Lahire, Brandes, M. Kaemtz, ont observé des phénomènes de ce genre. J'ai fait une observation pareille à Lyon, et je vais la rapporter en détail, parce qu'elle offre des particularités intéressantes. Le soleil se couchait à l'occident (25 mai 1843); on voyait les deux arcs; l'aire de l'arc intérieur était éclairée en rouge sombre teinte de sépia; la même teinte existait au couchant autour du soleil. Le rouge, l'orangé, le jaune, étaient visibles dans toute la longueur de l'arc de premier ordre; le vert était peu visible, surtout vers les pieds de l'arc; ceux-ci étaient suspendus à 2° au-dessus de l'horizon, et ils semblaient s'élever lentement à mesure qu'ils entraient dans l'ombre de la terre; le bleu et le violet manquaient complétement dans cette région. Chacun des pieds se terminait par une pointe triangulaire en forme de triangle isocèle, dont la base était la largeur de l'arc, et dont le sommet dirigé vers le bas correspondait à la limite de l'orangé et du jaune: la hauteur de ce triangle était plus grande que sa base; cette même disposition existait aussi sur la terminaison méridionale de l'arc extérieur. Vers sept heures trente minutes, le météore a disparu rapidement. Dans l'observation faite par Lahire le 30 juillet 1708, les deux arcs étaient rouges, et offraient du côté opposé au rouge une petite bande bleue.

» Les arcs surnuméraires peuvent aussi exister à la limite violette de l'arc de second ordre. Dicquemarre a vu cet arc bordé par une bande rouge suivie d'une bande verte. M. Brewster a aussi observé le même fait. J'en ai pareillement été témoin, sur le *Faulhorn*, le 28 septembre 1844. Lorsque ces arcs paraissent, on en voit toujours en dessous de l'arc de premier ordre. Ils ont évidemment la même origine. M. Fisher a vu trois arcs supplémentaires à l'arc de second ordre: celui de premier ordre en possédait cinq; dans sa relation, M. Fisher donne des détails circonstanciés et parfaitement conformes à la théorie, relativement aux espacements de ces arcs.

» M. Miller reproduit artificiellement les arcs surnuméraires en dirigeant un rayon solaire horizontal sur des filets d'eau cylindriques et verticaux, dont le diamètre varie de 1^{mm} à $0^{mm},33$. On peut obte-

Digitized by Google

nir ainsi jusqu'à seize fragments d'arcs surnuméraires intérieurs à l'arc intérieur ; on les voit aussi très-bien sur l'arc de second ordre et même sur l'arc de troisième ordre.

» Langwith avait remarqué depuis longtemps que les arcs surnuméraires ne descendaient jamais jusqu'à l'horizon ; le fait lui avait paru si constant qu'il en avait conclu que la lumière devait avoir dans les couches supérieures certaines propriétés qu'elle perdait dans les couches les plus basses. Presque tous les observateurs ont confirmé la remarque de Langwith (1). L'explication de ce fait consiste en ce que, les pieds de l'arc étant voisins de l'horizon, les gouttes qui produisent le météore sont là très-voisines du sol, presque à la limite de leur chute, et que l'accroissement de leur diamètre pendant leur descente à travers l'atmosphère les rend inefficaces pour la production de ces arcs. M. Arago a fait à ce sujet des remarques du plus haut intérêt dans ses *Instructions pour le voyage de la Bonite*.

» Le but de cette notice aura été atteint, si j'ai montré que, dans l'un des phénomènes naturels les plus étudiés et les mieux connus, un observateur attentif peut, encore aujourd'hui, trouver une ample moisson de faits importants à recueillir. »

INSTRUCTIONS SUR L'OBSERVATION DE L'ARC-EN-CIEL,

L'observateur étant supposé dépourvu d'instruments.

Les sept couleurs sont-elles également distinctes ?

Le violet est-il pur ? ne serait-il pas purpurin, teinté de rouge ? Le bleu est-il pur ?

Ne voit-on pas d'autres teintes en dedans du violet ? Comment sont-elles disposées ?

S'il existe des bandes colorées en dedans du violet, dire quel est leur nombre, leur couleur, estimer leur largeur par rapport à la largeur des bandes rouge, orangée, jaune, de l'arc.

(1) Le 2 juillet 1848, à 7 h. 5 m. du soir, j'ai observé près de Paris un premier arc surnuméraire (bande verte et bande pourpre interne) descendant jusqu'à l'horizon ; vers le haut de l'arc on voyait un second arc surnuméraire, peu distinct. Le violet de l'arc ordinaire était teinté de pourpre.

Digitized by Google

S'il n'existe pas de bandes colorées, dire quelle est la teinte du ciel, en dedans du violet de l'arc.

Quelle est la teinte du ciel en dehors du rouge de l'arc ?

L'arc s'étend-il jusqu'à l'horizon sensible ? comment ses deux pieds sont-ils limités ? Les teintes paraissent-elles différentes vers les pieds et vers le sommet de l'arc ?

Que se passe-t-il au moment de la première apparition de l'arc ? au moment de sa disparition ? quelles sont les teintes qui s'effacent les premières ?

Mêmes questions pour l'arc de deuxième ordre ; noter avec soin les couleurs situées du côté externe de cet arc.

Quel est l'aspect du nuage sur lequel l'arc paraît se dessiner ? offre-t-il la teinte blanche des nuées d'été (cumulus) ? paraît-il orageux ? Les gouttes arrivent-elles jusqu'au sol ?

Si l'arc-en-ciel se dessine sur un brouillard, quelle est la couleur, l'intensité de la lumière ? Si l'arc paraît blanc, quelle est sa largeur apparente ? change-t-il d'aspect ? ses bords n'offrent-ils aucune trace de coloration ? quels phénomènes optiques amène le passage du brouillard sur le disque du soleil ? quels phénomènes résultent de la projection de l'ombre de la tête de l'observateur sur ce même brouillard ?

Si l'on aperçoit un troisième arc-en-ciel du côté opposé au soleil, quelle est la disposition des couleurs dans ce troisième arc ? Est-il concentrique aux deux autres ? Les couleurs en sont-elles fixes, ou chatoyantes ?

Quelle est la hauteur estimée du soleil ? Quelle est l'heure et quel est le jour de l'observation ?

N'y aurait-il pas quelque nappe d'eau dans le voisinage de l'observateur ? Comment est-elle située par rapport à l'observateur, etc. ?

Si le ciel est noir du côté du soleil, chercher vers 40° de distance de l'astre si l'on n'y trouve pas des traces d'un autre arc-en-ciel, l'arc de troisième ordre.

Lorsque l'arc-en-ciel atteint l'horizon, l'observateur qui pourrait revenir plus tard à la même station, armé cette fois d'un instrument propre à mesurer les angles, devra noter quels sont les objets terrestres éloignés auxquels viennent aboutir les pieds de l'arc

Digitized by Google

à leur rencontre avec l'horizon, ce qui lui permettra de revenir quand il le jugera convenable, pour mesurer l'amplitude de l'arc ; cette observation n'offre un intérêt réel que dans le cas de l'arc-en-ciel blanc.

L'observateur étant muni d'instruments.

Avec une boussole de géologue, on peut relever la position des deux extrémités de l'arc à l'horizon : dans le cas de l'arc-en-ciel blanc, cette observation peut offrir un grand intérêt : on notera l'heure, le jour et le lieu.

Avec un théodolite, placer le limbe ou la lunette de passage dans le vertical du soleil, relever les hauteurs des bandes, noter les heures avec soin. Comme vérification, relever la hauteur du centre du soleil, se tenir en garde contre les effets du mouvement diurne. Si l'arc paraît sous forme d'un cercle complet ou presque complet, relever avec le cercle horizontal du théodolite les amplitudes droite et gauche de l'arc, et des bandes qui le composent.

Avec un sextant, distance des bandes au soleil, si la construction du sextant lui permet de mesurer des angles de 140° : même mesure pour l'arc de deuxième ordre.

Si les arcs de premier et deuxième ordre paraissent à la fois, mesurer les distances du rouge de l'un de arcs au rouge de l'autre, et de même pour les autres couleurs.

Faire cette mesure au point de culmination, et la répéter dans les deux régions où les arcs viennent rencontrer l'horizon.

Mesurer les positions angulaires des bandes surnuméraires, s'il en existe, par rapport au rouge de l'arc de premier ordre ; de même pour l'arc de second ordre.

Dans le cas de l'arc-en-ciel blanc, s'il embrasse plus d'une demi-circonférence autour de son centre, mesurer son diamètre avec le sextant.

Répéter et varier les mesures ; sans cela elles n'offriraient qu'un médiocre intérêt, du moins dans le cas de l'arc-en-ciel ordinaire.

Si l'observateur possède un horizon artificiel et un sextant, il pourra relever coup sur coup la hauteur du sommet de l'arc, et celle du soleil, vu dans son horizon : de ces deux mesures il sera facile de

Digitized by Google

conclure la distance du sommet de l'arc au soleil. Il n'est même pas nécessaire que le plan de l'horizon artificiel soit réglé, pour que l'observation précédente réussisse : il suffit que ce plan reste invariable pendant le temps écoulé entre la mesure de la hauteur du soleil et celle de la hauteur de l'arc. Il convient de reprendre une deuxième fois la hauteur de l'astre, afin d'éliminer l'effet du mouvement diurne sur la sphère céleste.

Si l'observateur est dans le nuage météorique, il ne négligera pas de regarder avec une loupe un peu forte la forme des corpuscules flottants qui passent au foyer de la loupe : le fond sur lequel il regardera devra être très-noir, pour que cette observation réussisse.

M. Bravais ne connaissait pas sans doute l'observation curieuse de M. Haidinger sur la présence des houppes de polarisation dans l'arc-en-ciel produit par l'insufflation de l'eau.

Arc-en-ciel blanc produit sur le brouillard, par M. FAYE.

« J'ai observé cette nuit un phénomène que je signale aux personnes qui s'occupent d'optique météorologique. En sortant d'une salle de travail qui donne sur le parc de l'Observatoire, j'ai remarqué que la lumière d'un bec à gaz, placé dans la salle à 4 ou 5 mètres en arrière, produisait en face de moi, par la porte entr'ouverte, un arc-en-ciel blanc semblable à un halo lunaire, dont la moitié inférieure se projetait sur le sol et les buissons voisins. J'ai mesuré grossièrement l'angle-sous-tendu par le diamètre de ce cercle à l'aide de deux règles croisées, et je l'ai trouvé entre 80 et 90 degrés, plus voisin de 80 degrés. Lorsque je me suis disposé à étudier de plus près cette apparence, et à faire varier, par exemple, l'éclat et la position de la lampe, etc., le brouillard venait d'être à peu près dissipé par un léger vent d'ouest. Cet arc blanc doit être facilement reproduit dans les temps de brouillard ; on pourrait le faire naître lorsque la nature des vésicules du brouillard le permettra, à l'aide de la lumière électrique, et l'étudier alors plus complétement que je ne l'ai fait. »

Description d'un stéphanoscope, ou appareil à montrer les couronnes, par H. W. DOVE.

Il est très-difficile de tracer sur le verre avec un diamant des cer-

Digitized by Google

cles concentriques avec l'exactitude et la régularité qu'exige la construction d'un stéphanoscope: aussi les appareils construits de cette manière ne rendent souvent que des services très-imparfaits. On obtient ces espaces dans leur plus grande pureté à l'aide d'un grillage très-brillant, et formé de petites droites parallèles; 1,200 sur 1 pouce.

M. Oertling exécute cet appareil avec une perfection rare. On lui imprime un mouvement rotatoire dans son plan; puis à travers le grillage en rotation on regarde une petite ouverture bien éclairée. Quand la lumière est très-blanche, on aperçoit distinctement huit anneaux rouges.

L'immense et beau travail de M. Bravais sur les halos et les phénomènes du même genre, imprimé en entier dans le *Journal de l'École polytechnique*, est une œuvre de premier ordre. Forcé de nous restreindre, nous nous bornons à reproduire 1° l'analyse donnée par l'auteur lui-même; 2° les remarques générales sur les halos, leur explication et leur théorie; 3° l'étude de la lumière de ces phénomènes au point de vue de la polarisation.

Sur les phénomènes optiques auxquels donnent lieu les nuages à particules glacées, par M. A. Bravais.

« Le Mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie traite des halos, parhélies et autres météores ayant avec ceux-ci communauté d'origine. Il en embrasse l'étude sous trois points de vue différents: description méthodique de ce qui a été observé; histoire critique des explications données antérieurement; enfin, théorie rationnelle de ces phénomènes, basée, d'un côté, sur les observations, de l'autre, sur les caractères physiques et cristallographiques de la neige.

« La partie descriptive comprend environ cent cinquante observations: vingt-quatre appartiennent au XVIIe siècle; les autres sont plus récentes. Je ne comprends pas dans ce relevé les apparitions ordinaires de halos simples, qui sont fréquentes et échappent à toute énumération, ni même les apparitions des parhélies ou parasélènes situés à 22 degrés de l'astre, trop nombreuses aussi pour qu'on puisse en dresser une liste exacte. Les diverses formes indiquées par

Digitized by Google

les observateurs peuvent se ramener aux types qui suivent : « Halo » de 22 degrés, parhélies de 22 degrés, arcs obliques de Loevitz » allant des parhélies au halo, arcs tangents horizontaux du halo de » 22 degrés, soit supérieur, soit inférieur, halo elliptique circon- » scrit au halo de 22 degrés, halo de 46 degrés, arcs tangents hori- » zontaux du halo de 46 degrés, arcs tangents latéraux du halo de » 46 degrés, cercle parhélique, parhélies situés à environ 45 degrés » du soleil, arcs tangents extraordinaires du halo de 22 degrés, » halos extraordinaires avec des rayons de 5, 14, 19, 28, 35 et » 90 degrés, arcs circumzénithaux extraordinaires qui leur corres- » pondent, parhélies blancs (ou paranthélies) situés à 120 degrés de » l'astre, parhélies situés à environ 100 degrés, cercle oblique vu » par Hall, colonnes verticales qui paraissent au lever et au coucher, » croix solaires et lunaires, faux-soleils, vus par Rhothman et Cassini, » en contact avec le vrai soleil ; enfin, l'anthélie et les arcs en sautoir » qui le traversent. »

» J'ai recueilli avec grand soin les faits qui prouvent que la substance de ces phénomènes est un nuage glacé. Les observations de Vendries, Gmelin, Scoresby, Parry, Brandes, Galle, Kaemtz et Langberg, ne laissent aucun doute à cet égard : ainsi, Langberg a vu un halo se dessiner sur un champ de neige, à peu près de même que nous voyons quelquefois l'arc-en-ciel sur les gouttes de rosée peu après le lever du soleil.

» J'ai analysé toutes les opinions émises sur les halos par Huyghens, Mariotte, Cassini, Thomas Young, Venturi, Fraunhofer, Brandes, et par MM. Babinet et Galle. Les explications sont parfois très-nombreuses : par exemple, le halo de 46 degrés a été expliqué de six manières différentes. En faisant un choix raisonné entre ces diverses opinions, on a déjà fait un grand pas vers la théorie complète du météore, mais les arcs tangents latéraux du halo de 46 degrés, les parhélies de 46 degrés, les arcs circumzénithaux extraordinaires, les parhélies blancs, le cercle de Hall, en colonnes verticales, les croix, les faux-soleils, l'anthélie et les arcs en sautoir de l'anthélie restent encore sans interprétation suffisante. Mon travail comblera, j'espère, cette importante lacune.

» Pour procéder méthodiquement à l'analyse d'un phénomène aussi complexe, j'ai d'abord formulé les lois générales de l'illumina-

Digitized by Google

tion de l'atmosphère par des corpuscules géométriquement semblables et semblablement éclairés ; j'ai pris ensuite pour point de départ un système de prismes à axes verticaux ; les phénomènes lumineux qui correspondent à ce cas étant convenablement analysés, les autres cas plus complexes s'en déduisent sans de trop grandes difficultés. Les théorèmes sur lesquels s'appuie cette analyse sont des corollaires des deux suivants :

« 1° Le sinus de l'angle que le rayon incident fait avec un plan » qui contient la normale à la face d'entrée est au sinus de l'angle » que le rayon réfracté fait avec ce même plan, comme l'indice de » réfraction est à l'unité ;

» 2° La projection du rayon lumineux sur tout plan qui contient » la normale à une face refringente traverse cette face en suivant la » loi de Descartes, la puissance réfractive (l^2-1) du second milieu » étant préalablement multipliée par le carré de la sécante de l'angle » que fait le rayon incident avec sa projection. »

» La réfraction de la lumière donne lieu à des théorèmes du même genre, qui se déduisent des précédents, en supposant l'indice l égal à -1.

» Les phénomènes qui dépendent des prismes à axes verticaux peuvent être imités au moyen d'un prisme d'eau à axe vertical, enfermé entre trois lames verticales de verre assemblées à 60 degrés ; en faisant tourner rapidement ce prisme sur lui-même, et faisant tomber sur lui un faisceau de rayons solaires, ou la lumière d'une bougie, on reproduit : 1° les deux parhélies avec les queues blanches opposées au soleil qui les accompagnent ; 2° les deux cercles parhéliques (passant par le soleil et parallèles à l'horizon), qui, dans la nature, sont superposés l'un à l'autre, l'un d'eux dû à une réflexion extérieure, l'autre à deux réfractions séparées par une réflexion à l'intérieur (comme dans l'arc-en-ciel du premier ordre) ; 3° les parhélies colorés qui sont formés à 98 degrés du soleil, par des rayons qui ont subi deux réfractions et deux réflexions internes. On peut même ainsi engendrer le parhélie distant de 142 degrés du soleil, parhélie qui résulte de rayons réfléchis quatre fois sur les faces verticales internes, mais dont la lumière est trop faible pour qu'on ait jamais pu l'apercevoir dans l'atmosphère.

» Si les rayons solaires tombent sur la base supérieure du prisme

Digitized by Google

d'eau, sous un angle de 15 à 20 degrés avec la surface, on voit se former l'arc horizontal qui, dans la nature, est situé à 46 degrés au-dessus de l'astre : cet arc est rigoureusement circulaire et centré sur le zénith.

» Le même appareil peut servir à reproduire l'anthélie : il suffit de substituer au prisme triangulaire une lame quadrangulaire de verre, tournant autour d'une de ses arêtes verticales. Si des stries sont tracées sur les surfaces de cette lame, cet anthélie artificiel est traversé par deux arcs symétriques disposés en sautoir.

» Les parhélies situés à 120 degrés du soleil s'expliquent de différentes manières, et paraissent dus surtout à des prismes cannelés, par exemple, à des prismes dont la section représenterait deux triangles équilatéraux alternes entre eux et de même centre (prismes hexagones étoilés). J'examine les diverses formations de ces parhélies, dans le cas de deux réflexions : si le nombre des réflexions est impair, il n'y a pas lieu à la formation d'un parhélie. Cette partie de la question peut aussi se résumer en un certain nombre de théorèmes généraux.

» Pour pouvoir comparer les données du calcul avec celles de l'observation, j'ai dû mesurer l'indice de réfraction de la glace pour les différentes couleurs du spectre. L'accord des données calculées d'après ces indices avec les données numériques des observations est, en général, très-satisfaisant ; il ne m'a point paru qu'il y eût lieu à recourir à l'une ou à l'autre des deux hypothèses suivantes, faites par M. Galle, savoir : 1° que l'indice de réfraction des cristaux générateurs soit supérieur à l'indice de la glace ; 2° que la zone la plus intérieure du halo de 22 degrés devrait sa lumière à des angles dièdres de 59° 21′ provenant des faces de l'ouverture du prisme hexagonal ou triangulaire.

» En définitive, l'explication des diverses parties du météore me paraît être la suivante :

» Le halo de 22 degrés est dû aux angles dièdres de 60 degrés, dans des prismes qui n'offrent aucun mode particulier d'orientation.

» Le parhélie de 22 degrés est produit par les mêmes angles, les axes des prismes devenant verticaux.

» L'arc tangent circumzénithal du halo de 46 degrés est produit par les angles de 90 degrés de ces prismes à axes verticaux.

Digitized by Google

» Lorsque les axes prennent des directions indéterminées, il se forme, à travers ces mêmes angles, un halo de 46 degrés de rayon.

» Les arcs tangents supérieur et inférieur du halo de 22 degrés sont engendrés par les angles de 60 degrés, les axes des prismes étant horizontaux. Les prismes dont les axes ont leur point de fuite à 90 degrés du soleil donnent lieu à la partie la plus brillante de ces arcs. Si le soleil est suffisamment élevé, ces arcs se réunissent en une courbe unique, qui est un halo elliptique à petit axe vertical, circonscrit au halo de 22 degrés.

» Les arcs tangents latéraux du halo de 46 degrés sont produits par les angles de 90 degrés des prismes dont les axes sont horizontaux; parmi ces prismes, ceux dont le point de fuite des axes sur la sphère céleste est à 67° 52′ du soleil donnent lieu à la partie de l'arc la plus lumineuse et la plus voisine du halo de 46 degrés.

» Le cercle parhélique est dû à la réflexion sur les faces verticales des prismes dont les axes sont horizontaux ou verticaux.

» Le parhélie de 45 degrés paraît être, le *plus souvent*, un parhélie secondaire formé par le parhélie de 22 degrés.

» Les halos extraordinaires, arcs circumzénithaux extraordinaires, sont dus aux faces de pointement qui terminent quelquefois les prismes. Les équations de ces arcs sont remarquables, et prouvent que les branches qui les composent sont, d'un bout à l'autre, ou ascendantes ou descendantes, ce qui n'a pas lieu pour les arcs tangents du halo de 22 degrés.

» Les diverses circonstances du halo vu par Hall en 1796 peuvent s'expliquer par des prismes à axes verticaux, et dont le pointement supérieur portait des faces faisant avec l'axe cristallographique un angle de 70° 32′.

» Les parhélies situés sur le cercle parhélique, à diverses distances du soleil, sont dus à des hexagones étoilés, ou à des dodécagones étoilés de diverses sortes.

» Les colonnes verticales qui surmontent le soleil à son lever sont dues à la réflexion *interne* des rayons sur la base *inférieure*, ou *interne* sur la base *supérieure* de prismes à axes verticaux, ces prismes étant d'ailleurs soumis à de petits balancements autour de la verticale.

» Les rayons qui éprouvent 3, 5, 7 réflexions du même genre, al-

Digitized by Google

ternativement sur les bases supérieure et inférieure de 3, 5, 7 prismes pareils, non liés entre eux, contribuent à augmenter l'éclat ainsi que la longueur de ces colonnes lumineuses.

» Les rayons qui subissent 2, 4, 6 réflexions du même genre, donnent lieu aux lueurs verticales, à bras supérieur et inférieur égaux entre eux, lesquelles accompagnent l'astre dans sa route sur la sphère céleste, jusqu'à 20 à 25 degrés d'élévation au-dessus de l'horizon. Ces lueurs, en se combinant avec une portion du cercle parhélique, donnent le phénomène de la croix.

» Les faux-soleils de Rothman, Bouguer, Cassini, Malesieu, peuvent s'expliquer par des prismes à axes verticaux ou sensiblement verticaux, portant pour pointements des faces presque horizontales inclinées de 89° 53′ sur l'axe, et par des rayons qui, entrant par l'une des faces verticales, se réfléchissent deux fois sur les faces internes de l'angle dièdre de 199° 46′, et sortent par la face verticale opposée à celle d'entrée.

» L'anthélie est dû à des cristaux à axe horizontal, dont les bases verticales ont une de leurs trois diagonales verticale; les angles dièdres de 90 degrés, à arêtes parallèles à cette diagonale, engendrent alors l'anthélie. Si les bases offrent des stries d'accroissement, l'anthélie peut être traversé par des arcs en sautoir. Je montre que ces stries peuvent exister, et qu'elles doivent former avec l'horizon des angles égaux à 0,30, 60 et 90 degrés.

» Enfin, en recueillant le petit nombre de faits qui peuvent fournir quelques renseignements sur la valeur de l'angle dièdre du rhomboèdre élémentaire de la glace, j'arrive à ce résultat, que cet angle dièdre pourrait fort bien être égal à 90 degrés ou à un angle très-peu différent de l'angle droit. »

Remarques générales sur les halos et leur explication ou leur théorie.

La comparaison approfondie que nous venons de faire entre les phénomènes optiques que doivent produire des cristaux de neige flottant dans l'atmosphère, et ceux qu'une observation attentive a fait remarquer aux météorologistes, offre des résultats dont l'ensemble doit satisfaire l'esprit. La série très-étendue et très-variée des divers aspects de ces météores, mise en regard de la série des formes

Digitized by Google

indiquées par la théorie de Mariotte, offre avec cette dernière le parallélisme le plus parfait. Quelques points obscurs restent encore çà et là, mais seulement en ce qui concerne des apparitions très-rares, et la plupart du temps incomplétement définies par ceux qui en ont été les témoins. Il serait peu philosophique de partir de là pour refuser son assentiment à la théorie. Quel physicien a jamais songé, dans le siècle dernier, à rejeter l'explication de l'arc-en-ciel par Descartes, sous le prétexte que cette théorie laissait inexpliqués les arcs surnuméraires que les observateurs avaient déjà parfaitement remarqués, mais dont il était réservé à Young de donner la véritable solution? et, dans ce même ordre de phénomènes, la cause de la dégénérescence connue sous le nom d'*arc-en-ciel blanc* n'est-elle pas restée inconnue jusque dans ces dernières années, sans qu'il en résultât aucun préjudice pour la théorie de Descartes? Il est hors de doute que les anomalies qui subsistent en petit nombre dans la théorie des halos s'expliqueront un jour, dès que l'on possédera des observations plus précises et accompagnées de mesures angulaires exactes. Je vais résumer rapidement l'ensemble des faits actuellement bien connus.

Lorsque les couches élevées de l'atmosphère sont saturées d'humidité, à une température plus basse que zéro degré, le moindre abaissement de température détermine la précipitation de la vapeur d'eau à l'état cristallin. Dans le cas général cette précipitation a lieu d'une manière confuse; les particules cristallines se groupent irrégulièrement; il n'en résulte qu'une masse amorphe et pulvérulente. Les nuages ainsi constitués sont blanchâtres et doués de pouvoirs réflecteurs considérables; ils absorbent une assez forte fraction des rayons lumineux qui les traversent. Au commencement de la condensation, on voit paraître une vapeur laiteuse, un voile répandu uniformément sur le ciel, et dont l'éclat général est souvent difficile à supporter. Dans un état plus avancé, ces nuages se disposent en longs filaments, ou cirrus, formant souvent des bandes parallèles que la perspective fait paraître convergées en deux points opposés de l'horizon.

Mais que la condensation de la vapeur se fasse d'une manière lente et régulière, qu'un temps suffisant soit accordé aux molécules, la cristallisation s'opérera suivant de certaines règles fixes, telles ou

Digitized by Google

telles formes se dessineront, le prisme hexagonal de la neige s'alongera suivant son axe, ou se dilatera parallèlement à ses bases, les facettes de pointement s'inclineront sur l'axe du cristal. On conçoit que la température, la variation plus ou moins lente de cette température suivant la verticale, le mélange des couches inégalement humides, le rayonnement nécessairement inégal des différentes parties de la surface du cristal, la densité plus ou moins grande de l'air, sa pression, peut-être aussi son état électrique, détermineront la prédominance de telle ou telle forme, suivant des lois qui nous sont encore presque complétement inconnues.

Dès que la formation cristalline a acquis une certaine importance, le nuage devient propre à la production des halos et des phénomènes congénères. Les particules cristallines se rangent alors sous plusieurs types principaux que Venturi a déjà parfaitement caractérisés sous le nom de *Légions*.

Le premier groupe est celui des cristaux qui, soit par leur forme sphéroïdale, soit par suite de l'agitation de l'air, n'ont aucune situation déterminée de préférence, dans l'espace qui les environne. Ces cristaux donnent naissance au halo de 22 degrés, au halo de 46 degrés et à quelques autres halos beaucoup moins fréquents, parmi lesquels on doit surtout remarquer ceux de *Scheiner* et d'*Hévélius*.

Le deuxième groupe est celui des cristaux à axe alongé, et qui, dans une atmosphère calme, tombent lentement, l'une de leurs deux pointes vers le sol. Les phénomènes qui en dépendent, et qui se produisent, si la hauteur du soleil est comprise entre les limites convenables, sont le parhélie de 22 degrés avec son parhélie secondaire, l'arc tangent horizontal du halo de 46 degrés, supérieur ou inférieur à ce halo, le paranthélie de 120 degrés, le cercle parhélique et les stries verticales ou obliques passant par le centre de l'astre.

Le troisième groupe est celui des cristaux lamellaires hexagones tombant nécessairement dans l'air, suivant le plan de leurs bases. De ce troisième groupe dépendent surtout ces halos de 22 degrés dont les parties supérieure et inférieure sont beaucoup plus lumineuses que les latérales, les arcs tangents supérieur ou inférieur à ce même halo, les arcs tangents latéraux du halo de 46 degrés, et le cercle parhélique.

Digitized by Google

Le quatrième groupe comprend aussi des cristaux lamellaires, mais dont la structure est telle qu'elle décide la chute à se faire suivant une des trois diagonales, qui devient alors verticale. De ce dernier type dépendent les arcs tangents extraordinaires du halo de 22 degrés, le parhélie de 46 degrés, l'anthélie, les arcs obliques en sautoir passant par l'anthélie, et ceux pareils aux précédents, qui passent par le centre de l'astre. Je désignerai ces divers groupes par les numéros d'ordre 1, 2, 3 et 4.

La pesanteur fournit aux cristaux des trois derniers groupes la force directrice nécessaire pour que leur axe devienne vertical ou horizontal. Il est probable que le mode même de la chute favorise l'accroissement du cristal dans tel ou tel sens, et que les nouvelles molécules s'ajoutent de préférence sur les plans des faces inférieures, ce qui alonge encore le cristal, et contribue à augmenter l'intensité de sa force directrice. C'est peut-être à cette cause qu'est dû le défaut de symétrie ternaire qui, selon ma manière de voir, peut déterminer les cristaux du troisième groupe à s'alonger de préférence suivant une des trois diagonales de l'hexagone, à prendre cette diagonale pour ligne de chute et à passer ainsi dans le groupe n° 4.

Cette descente du cristal ne peut, d'ailleurs, s'effectuer sans quelques oscillations autour de sa position d'équilibre ; il résulte de ces oscillations, lentes ou rapides, qu'à un instant donné les axes d'un certain nombre des cristaux du groupe n° 2 dévient de 1 . 2 . 3 . . . degrés de la station verticale, et qu'il en est de même pour le groupe n° 3, relativement à la station horizontale des axes. Non-seulement l'effet de ces balancements se décèle dans l'aspect des phénomènes optiques que ces cristaux produisent, mais on peut même parvenir à conclure de l'observation des valeurs maxima de ces balancements, et j'ai pu m'assurer de la sorte que l'équilibre des axes verticaux était beaucoup plus stable que celui des axes horizontaux, les angles de balancement de ces derniers axes étant au moins trois à quatre fois plus grands que ceux des premiers.

Le cas des balancements plus ou moins étendus établit ainsi une sorte de passage entre le cas où les cristaux n'offrent aucune orientation et ceux où leur orientation est plus ou moins complète; et même il n'est pas rare que les divers groupes de cristaux signalés ci-dessus existent en même temps sur le ciel.

Digitized by Google

J'ai relevé, sur mon registre des halos, les divers cas de coexistence de ces divers groupes ; en voici le tableau :

Groupe . . .	2 seul.	. .	très-fréquent, 2 à 300 au moins.
Id. . . .	3 id.	. .	18 cas.
Id. . . .	4 id.	. .	8 id.
Id. . .	2 et 3 coexistants.		45 id.
Id. . .	2 et 4 id.	. .	3 id.
Id. . .	3 et 4 id.	. .	1 id.
Id.	2, 3, et 4 id.	. .	6 id.

Si l'on veut confondre le groupe 4 dans le groupe 3, on aura :

Groupe . . .	2 seul.	. .	très-fréquent.
Id. . . .	3 id.	. .	27 cas.
Id. . .	2 et 3 ensemble	.	54 id.

Il resterait à savoir si les cristaux à axes horizontaux et ceux à axes verticaux de ces 54 cas appartiennent au même nuage générateur ou à des nuages distincts ; si, dans le cas plus vraisemblable d'un nuage unique, l'un des groupes n'appartiendrait pas de préférence à la partie inférieure, et l'autre à la partie supérieure de ce nuage. On ne peut former à cet égard que des conjectures.

Je me suis également demandé si l'on ne trouverait pas dans le grand nombre des phénomènes de ce genre qui ont été décrits la trace de quelque force directrice autre que celle de la pesanteur, et principalement de la force magnétique du globe terrestre. Si les axes de nos cristaux devenaient parallèles à la ligne d'inclinaison magnétique, ce parallélisme se trahirait aussitôt par des modifications d'un certain ordre dans les phénomènes optiques dus à ces cristaux : or, il m'a été impossible d'y découvrir rien de semblable. Si l'action des rayons solaires intervenait pour diriger les axes, ce serait, soit en placant les lames hexagonales de nos cristaux à angle droit avec la direction de ces rayons, soit en dirigeant les plans de ces lames, de manière à faire passer leurs prolongements par le centre de l'astre. Je n'ai pu, non plus, trouver aucune trace des apparences auxquelles devraient donner lieu de semblables modes d'orientation de nos prismes de glace.

Young a émis l'idée qu'un commencement de fusion des prismes cristallins pourrait altérer le rayon du halo de 22 degrés. Cette opi-

Digitized by Google

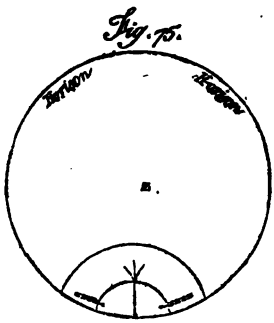
nion me paraît exacte et confirmée par certaines observations. Lorsqu'une mince couche liquide se répandra sur les six faces latérales d'un prisme, le lieu moyen des générateurs du halo restera le même; mais l'anneau deviendra plus large que ne l'indique la théorie.

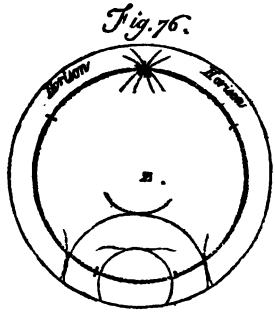
On explique ainsi comment le halo vu par Wagner offrait dans sa partie inférieure et la plus australe une largeur inusitée d'environ 4 degrés; peut-être le nuage générateur, poussé vers le sud, rencontrait-il devant lui des conditions de température capables de produire, sur les cristaux de sa partie antérieure, un commencement de fusion. Burney a vu à Gosport des halos lunaires de 3 degrés de largeur, le 14 mai 1829 et le 28 février 1830. J'en ai observé un du même genre, à Bossekop, le 5 novembre 1839.

On peut expliquer de même les différences que l'on a quelquefois observées entre le rayon vertical supérieur et le rayon vertical inférieur du halo. Par exemple, le 4 août 1740 (ancien style), Braun a trouvé 21 degrés pour le rayon supérieur et 25 degrés pour l'inférieur. M. Kaemtz, par la moyenne de plusieurs mesures, obtient 22° 50′ pour le rayon supérieur, et 21° 45′ pour l'inférieur.

Il n'est pas possible de représenter par une seule figure la série complète des formes que peut prendre un halo complexe, et, par ce terme de halo complexe, je comprends ici le halo de 22 degrés et tous les autres phénomènes qui s'y rapportent et qui peuvent l'accompagner. La raison en est simple: c'est que ces formes varient avec la hauteur du soleil. Mais on y réussit assez bien avec quatre termes convenablement choisis dans la série de ces différentes formes, toutes les autres pouvant être regardées comme étant intermédiaires ou de passage.

En conséquence, dans une première figure, 75 du Mémoire,



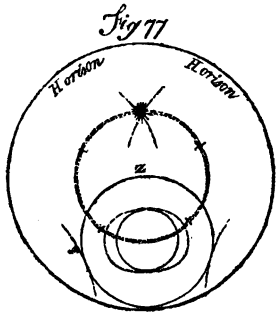


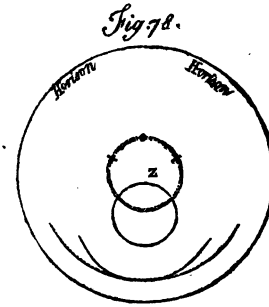
Digitized by Google

j'ai supposé le soleil à une hauteur de + 1° : le halo le plus complexe possible se compose alors du halo de 22 degrés proprement dit, de celui de 46 degrés, de l'arc tangent supérieur au halo de 22 degrés, de la lueur verticale de première espèce, et quelquefois des deux faux soleils.

La deuxième figure, 76 du Mémoire, a été dessinée pour une hauteur d'environ 18 à 20 degrés. Elle montre le halo de 22 degrés avec son arc tangent supérieur, le halo de 46 degrés avec son arc tangent supérieur et ses arcs latéraux, le cercle parhélique avec les parhélies de 22 degrés, les paranthélies de 120 degrés, l'anthélie et la croix à huit branches qui passe alors par l'anthélie, enfin la lueur verticale de deuxième espèce.

La troisième figure, 77 du Mémoire, convient à une hauteur de 45 degrés. On y voit le halo de 22 degrés avec son halo circonscrit, le halo de 46 degrés avec ses arcs tangents latéraux, le cercle parhélique avec les parhélies extérieurs au halo circonscrit, les paranthélies de 120 degrés, l'anthélie et la croix à 4 branches de l'anthélie.





Enfin la dernière figure, 78 du Mémoire, appartient au cas où le soleil aurait 65 degrés d'élévation. Le phénomène se compose alors du halo de 22 degrés, du cercle parhélique avec les paranthélies de 120 degrés, et du halo de 46 degrés (ordinairement réduit à sa partie inférieure) avec son arc tangent inférieur.

Un halo quelconque ayant été observé, si l'on jette les yeux sur ces figures, on aura aussitôt l'explication des diverses courbes ou taches lumineuses, et, si quelque partie du météore échappait à cette comparaison, elle rentrerait dans la classe des phénomènes plus

Digitized by Google

rares que je n'ai pas cru devoir figurer. Pour que cette comparaison soit plus instructive, les lignes lumineuses dues aux groupes nos 1, 2, 3 ou 4 de nos cristaux ont été gravées avec des traits différents, et j'en ai fait de même pour les parhélies et paranthélies correspondant à ces divers groupes.

En terminant j'appellerai de nouveau l'attention des observateurs sur la nécessité de mesures angulaires précises, et aussi, ce qui n'exige l'emploi d'aucun instrument, sur l'utilité de noter avec soin l'ordre des diverses couleurs, leur éclat relatif et celui des différentes parties d'un même arc. La connaissance du mode de distribution et de l'intensité des teintes est d'une extrême importance pour la théorie des phénomènes que nous venons d'étudier. »

Sur la polarisation de la lumière des halos.

« En étudiant la lumière des halos au point de vue de la nature de sa polarisation, on peut soumettre à de nouvelles épreuves les théories développées dans ce mémoire. Depuis la belle découverte de M. Arago, qui a annoncé que la lumière des halos proprement dits, ou de 22 degrés, était polarisée par réfraction, je ne sache pas qu'aucun expérimentateur ait soumis à l'analyse polariscopique la lumière des autres parties du météore, telles que les parhélies, arcs tangents, cercle parhélique, etc.

Pour compléter les expériences faites avec mon prisme tournant et rapportées dans le § 24, j'ai analysé, avec le polariscope de M. Arago, les images produites par ce prisme. On peut aussi employer le polariscope de Savart dans le même but; mais alors, pour tirer de ce dernier appareil tout le parti possible, il convient d'employer une source lumineuse très-large, par exemple, une bougie placée à petite distance du prisme, ou bien encore la lumière athmosphérique introduite par un carreau de quelques décimètres carrés, que l'on conserve démasqué à la fenêtre de l'appartement, tous les autres ayant été au contraire hermétiquement bouchés.

A défaut d'un prisme de glace, j'ai employé un prisme de verre, sauf dans l'observation de l'arc tangent de 46 degrés, où j'ai dû remplacer le prisme de verre par un prisme d'eau emprisonné entre des lames de verre, ce qui a pu modifier d'une manière assez sensible les résultats obtenus.

Digitized by Google

CERCLE PARHÉLIQUE. — Le cercle parhélique étant le résultat de la superposition du cercle par réflexion externe et du cercle par réflexion interne, j'ai dû les analyser séparément.

Le premier de ces cercles est polarisé dans un plan passant par la source lumineuse, c'est-à-dire horizontalement; cette polarisation est presque nulle dans le voisinage de la source, ainsi qu'à 180 degrés de distance; elle a son maximum vers 70 degrés, comme on devait s'y attendre.

Dans le cercle par réflexion intérieure, on ne voit point de polarisation sensible tant que l'on est dans l'arc de réflexion totale; dans l'arc de réflexion partielle, la polarisation horizontale est très-forte, son maximum paraît être à 30 degrés au delà de cette limite. En regardant les deux zones de réflexion totale et de réflexion partielle à travers le polariscope de Savart, on voit les bandes s'arrêter brusquement sur l'arc de réflexion totale. Cette expérience doit être faite avec le prisme immobile.

Il résulte de ce qui précède cette conséquence remarquable, que, dans la nature, la polarisation horizontale du cercle parhélique doit offrir deux maxima, l'un vers 75 degrés de l'astre, et l'autre vers 100 ou 120 degrés de distance.

PARHÉLIES, HALOS ET ARCS TANGENTS DE 22 ET DE 46 DEGRÉS. — Le parhélie de 22 degrés est polarisé faiblement par réfraction; on peut s'en assurer avec le prisme immobile aussi bien qu'avec le prisme tournant. La polarisation verticale s'accroît, à partir des images qui fournissent le parhélie, jusqu'à celles qui correspondent au milieu de la queue de ce parhélie. Ce résultat est aussi très-visible pendant la rotation du prisme.

Dans la nature, le cercle parhélique à polarisation horizontale se superpose sur un parhélie à polarisation verticale. Quel est le résultat de ce mélange des deux lumières? Le prisme tournant ne résout pas directement cette question, parce que les deux lumières ne sont pas superposées pour l'œil qui regarde au travers.

Pour éluder cette difficulté, j'ai rayé finement la face postérieure de la deuxième lame de quartz du polariscope de stries perpendiculaires à l'axe de la tourmaline. En regardant alors une source lumineuse placée au niveau de l'œil, à travers le polariscope, l'axe de la tourmaline étant horizontal, on voit une image de la source lumineuse très-

Digitized by Google

dilatée horizontalement, polarisée ou non polarisée, selon que la source l'est ou ne l'est pas. Par cet artifice, je force les deux lumières juxtaposées à se dilater et à venir se recouvrir en partie, sans que le striage ait altéré en rien la nature de leur polarisation mutuelle. Je suis ainsi parvenu à superposer la lumière du parhélie 4 à celle du cercle parhélique 1, 2 ; j'ai vu alors que la polarisation verticale du parhélie était prédominante. Pour faire cette observation, il faut coller de minces bandes de papier blanc le long de l'arête verticale de l'angle dièdre le plus voisin de l'œil : il faut aussi avoir le soin de se placer à une certaine distance du prisme ; car, si le polariscope était placé trop près, les deux faisceaux émergents ne se seraient pas encore pénétrés, et la superposition requise ne serait pas accomplie.

Lorsqu'on opère avec le prisme immobile, on n'obtient pas de signe sensible de polarisation dans la région du parhélie, ou du moins la polarisation verticale y est à peine prédominante ; mais cette prédominance est beaucoup plus marquée pendant la rotation du prisme, ce qui provient de ce que l'image réfléchie est bien plus affaiblie par cette rotation que ne l'est l'image réfractée.

En définitive, on voit que la lumière des parhélies doit être polarisée verticalement, et il est facile d'en conclure que celle du halo de 22 degrés doit être polarisée tangentiellement au halo; ce résultat doit aussi s'étendre au halo de 46 degrés.

Les arcs tangents des halos de 22 et de 46 degrés doivent aussi être polarisés, suivant une direction tangentielle, au moins dans le voisinage du point de contact. Je me suis assuré, avec le prisme d'eau, que la lumière des arcs tangents supérieur et inférieur du halo de 46 degrés était polarisée horizontalement, ce qui s'accorde avec les énoncés précédents.

Le parhélie de 46 degrés doit aussi être polarisé verticalement.

Paranthélies. — Le paranthélie de 120 degrés doit être polarisé horizontalement ; je n'ai pu le vérifier que sur le paranthélie produit par la réflexion sur les deux faces internes d'un angle rentrant de 60 degrés.

Dans le cas de la réflexion totale, la polarisation doit être peu sensible.

Je me suis assuré, en outre, que, conformément à la théorie, le

Digitized by Google

paranthélie de 98 degrés est polarisé par réfraction, c'est-à-dire horizontalement.

LUEURS VERTICALES. — Leur polarisation est nécessairement verticale ; elle doit être surtout très-intense vers les extrémités des traînées lumineuses.

ANTHÉLIE. — La polarisation de l'anthélie est horizontale et assez forte ; la position azimutale de la lame hexaèdre, qui donne la polarisation maximum, est celle qui fait pénétrer le rayon sous l'angle de polarisation de la substance de la lame (34 degrés pour le verre, 37°, 30 pour la glace). La lumière émergente paraît alors complétement polarisée, soit que la réflexion totale ait précédé la partielle, soit que l'inverse ait eu lieu. Sous l'incidence normale, il n'y a aucune polarisation appréciable.

Ces résultats se rapportent au cas du soleil horizontal ; ils sont modifiés par l'élévation de l'astre éclairant, et je me suis, en effet, assuré que la polarisation horizontale s'affaiblit à mesure que l'astre s'élève au-dessus du plan de l'horizon ; mais elle est encore sensible à une hauteur de 20 degrés.

ARCS OBLIQUES PASSANT PAR L'ASTRE OU PAR L'ANTHÉLIE. — S'il existe des arcs obliques passant par le soleil, et dus aux stries tracées sur des lames hexagonales à tranche verticale, la lumière doit y être polarisée verticalement, c'est-à-dire par réfraction, à cause du passage des rayons à travers ces lames. C'est surtout à droite et à gauche de l'astre, et à quelques degrés de distance, dans les secteurs brillants situés entre ces arcs obliques, que cette polarisation verticale doit être sensible. Il serait utile d'interroger ces illuminations latérales pendant les halos, dont l'aspect dénote la prédominance des axes horizontaux des prismes.

Les arcs obliques de l'anthélie, au contraire, doivent être polarisés horizontalement, c'est-à-dire qu'ils offriront le même genre de polarisation que l'anthélie elle-même ; toutefois, je n'ai pas pu vérifier cette dernière proposition, ces arcs étant peu apparents à la lumière de la flamme d'une bougie.

Polarisation de la lumière des halos dans l'atmosphère. La polarisation propre du halo, en se mêlant à la polarisation atmosphérique ordinaire, produit des résultats qu'il n'est pas sans intérêt d'étudier.

Digitized by Google

Tous les physiciens savent que la lumière de l'air serein est polarisée par réflexion ; ainsi dans la région du halo, vers 20 à 25 degrés de distance du soleil, l'action de l'atmosphère tend à produire une polarisation normale à la circonférence du halo. Cette polarisation de l'air serein est toujours plus marquée dans les régions latérales, à droite et à gauche de l'astre, que dans celles du vertical solaire, sans doute parce que les réflexions du second ordre tendent à produire un peu de polarisation horizontale qui, pour les régions latérales, s'ajoute à la polarisation due aux réflexions de premier ordre, et qui s'en retranche, au contraire, pour les parties du ciel situées au-dessus ou au-dessous de l'astre.

Dans les halos que j'ai observés, j'ai toujours vu la polarisation tangentielle du halo l'emporter sur la polarisation normale, et, en définitive, le halo est toujours polarisé tangentiellement, comme M. Arago l'a annoncé. Toutefois, il est à remarquer que cette polarisation tangentielle a un maximum très-marqué dans le point le plus élevé du halo, et aussi dans son point le plus bas. Si le halo n'est pas très-vif, il peut arriver qu'il n'y ait point de polarisation appréciable dans les deux parties latérales ; mais la polarisation tangentielle persiste toujours au point de culmination.

Cette polarisation se prolonge au delà du halo jusqu'à une distance du soleil que j'ai estimée égale à 27 ou 28 degrés ; il y a là une sorte d'anneau neutre de 27 degrés de rayon, au delà duquel la lumière est polarisée par réflexion. Plus exactement, cet anneau est légèrement elliptique ; son demi-axe vertical est toujours un peu plus grand que le demi-axe horizontal, en vertu des causes déjà indiquées.

Quant à la nature de la polarisation dans l'intérieur du halo, elle offre des variations assez singulières. Ainsi, dans la partie supérieure de l'aire interne du halo, j'ai trouvé la polarisation nulle le 4 octobre 1847, horizontale le 8 septembre, les 5, 10 et 16 octobre 1847 ; dans les parties latérales, j'ai trouvé une polarisation verticale le 8 septembre 1847, horizontale le 4 octobre 1847 ; d'ailleurs, les signes de polarisation sont peu sensibles. Ces observations ont été faites par des hauteurs du soleil comprises entre 29 et 53 degrés. »

Digitized by Google

Sur la polarisation de l'atmosphère, par Sir DAVID BREWSTER.

La petite dissertation que nous allons analyser rapidement fait partie de la septième livraison de l'atlas physique de MM. Berghaus et Johnston.

Dans la portion du firmament comprise entre le point neutre de M. Arago et celui de M. Babinet, la lumière est polarisée verticalement ou positivement, suivant la mauvaise expression adoptée par M. Brewster. Au contraire, dans l'espace qui s'étend du point neutre de M. Arago au point antisolaire, ou entre le point neutre de M. Babinet et le soleil, la lumière est polarisée horizontalement ou négativement. On peut en conclure 1° que ces deux points neutres sont le résultat d'une compensation, consistant en ce que la lumière polarisée horizontalement neutralise la lumière polarisée verticalement, ou forme avec elle du blanc ; 2° que la lumière polarisée horizontalement est produite, soit par réflexion dans un plan perpendiculaire à celui qui passe par le soleil, soit par réfraction dans un plan passant par les deux points neutres et le soleil, soit par ces deux causes réunies. Mais, de quelque manière que se produise la lumière polarisée horizontale, il est évident qu'elle pourra et devra faire naître au-dessous du soleil un nouveau point neutre, que M. Brewster est enfin parvenu à découvrir en 1845.

Point neutre de M. Arago. — Quand le soleil est à l'horizon, le point neutre est situé à 18° ½ au-dessus de l'horizon. Si le soleil est à 11 ou 12° au-dessus de l'horizon, et le point antisolaire par conséquent à la même distance au-dessous de l'horizon, le point neutre est à l horizon, et sa distance au point antisolaire n'est plus que de 11 à 12 degrés. A mesure que le soleil descend à l'horizon, le point antisolaire s'élève, la distance du point neutre à ce point antisolaire croît graduellement, et quand le soleil a atteint l'horizon, le point neutre situé à 18° ½ au-dessus de l'horizon est aussi à 18° ½ du point antisolaire. Après le coucher du soleil, la distance du point neutre au point antisolaire continue à croître, c'est-à-dire qu'il monte plus rapidement que le soleil ne descend : sa distance maximum, par un crépuscule très-faible, est de 25 degrés.

A la latitude de St-Andrews, le point neutre de M. Arago reste tout le jour sur l'horizon du milieu de novembre à la fin de janvier.

Digitized by Google

Dans les autres mois de l'année il ne s'élève jamais tant que le soleil n'est pas à 11 ou 12 degrés de l'horizon, et il ne se couche que lorsque le soleil est de nouveau situé à 11 ou 12 degrés de l'horizon.

Sur le point neutre secondaire, compagnon du point neutre de M. Arago. — M. Brewster observa d'abord les traces de ce phénomène remarquable le 8 juin 1841, à 5^h 50′, alors que la polarisation verticale était la plus forte à fleur de l'horizon, continent ou mer, et à 1° ½ au-dessus de l'horizon. Par là même, le point neutre de de M. Arago, en se levant, ne devait pas se montrer d'abord à l'horizon, mais à plus de 1° ½ au-dessus, la compensation ne pouvant se produire qu'au point où la polarisation verticale est plus faible qu'à l'horizon. Lorsque cela a lieu, on a le singulier phénomène d'un point neutre avec polarisation verticale de chaque côté. Lorsque ce phénomène est mieux développé, en raison de l'état plus favorable de l'horizon, la polarisation verticale est vaincue par la polarisation horizontale qui s'avance. La polarisation horizontale est alors située immédiatement au-dessous du point neutre ascendant; mais à une certaine distance, un petit nombre de degrés au-dessous du point neutre, la polarisation horizontale est compensée par l'excès de la polarisation verticale à fleur de l'horizon, et l'on peut contempler le beau phénomène de deux points neutres séparés par des bandes de polarisation horizontale. M. Brewster a vu ce phénomène sur l'horizon de la mer entouré d'une bande obscure de quelques degrés de hauteur, ce qui indiquerait la présence d'un brouillard éloigné. Le 21 avril 1842, M. Brewster a observé le point neutre secondaire dans une circonstance éminemment favorable. A 6_h 22′ après midi, lorsque le point neutre principal se montrait à la hauteur de 15 degrés, le point neutre secondaire apparaissait élevé de 2° 50′. A 7^h on voyait encore les bandes verticales au-dessus de l'horizon de la mer, et elles étaient très-intenses au contact du rideau obscur qui terminait l'horizon visible.

Point neutre de M. Babinet. — Ce point neutre est situé au-dessus du soleil à une distance de 18° 30′, lorsque cet astre se lève ou se couche et que le ciel est très-pur. Dans les grandes latitudes il est visible pendant la plus grande partie de l'année, et comme il se

Digitized by Google

trouve au-dessus du soleil, il apparaît toutes les fois que cet astre brille par un ciel serein. Si le soleil est au zénith, ce point neutre coïncide avec le centre du soleil. A mesure que la hauteur du soleil diminue, le point neutre se sépare du centre de l'astre ; sa distance croît graduellement jusqu'à ce qu'elle atteigne 18° 30′, lorsque la hauteur du soleil est nulle, ou lorsque cet astre se lève ou se couche.

Le point neutre de M. Babinet peut, comme celui de M. Arago, être accompagné, dans un certain état de l'atmosphère à l'horizon, d'un point neutre secondaire ; mais M. Brewster ne s'est pas trouvé dans des circonstances assez favorables pour faire cette observation.

Point neutre de M. Brewster. — La théorie indiquait l'existence d'un troisième point neutre situé au-dessous du soleil, mais M. Brewster l'a longtemps cherché en vain. La découverte qu'il fit de la polarisation horizontale s'étendant quelquefois depuis le soleil jusqu'à l'horizon, lorsque la hauteur de l'astre était de 30°, ne laissait aucun doute sur la présence d'un troisième point neutre, et en rendant son œil inaccessible à toute lumière étrangère, M. Brewster l'aperçut enfin très-près de l'horizon, ayant au-dessous de lui une petite portion de lumière verticalement polarisée. Il a depuis répété souvent cette observation lorsque le soleil était à de plus grandes hauteurs. Le 18 février 1845, à midi, il vit son point neutre aussi distinctement que possible. Les bandes de la lumière polarisée étaient horizontales au-dessous du soleil et verticales près de l'horizon ; la distance du point neutre au soleil était de 15 à 16°. Il le revit mieux encore le 20 et le 26 avril à midi par un jour très-serein; sa distance de midi à 3^h 45′ varia de 10 à 17°. Le 27 avril, le point neutre était à 33° ½ au-dessus de l'horizon, lorsque vers midi un brouillard vint précipitamment de la mer : le point neutre de M. Brewster descendit rapidement et disparut sous l'horizon, tandis que le point neutre de M. Babinet monta jusqu'au zénith. A 1^h 20′ le brouillard diminua : le point neutre de M. Brewster reparut près de l'horizon, et fit une série d'oscillations en haut et en bas en parcourant un espace de 5 à 6°, suivant que le brouillard était plus rare ou plus dense.

Quand le ciel est clair, le point neutre de M. Brewster s'approche du soleil à mesure que la hauteur de cet astre augmente, et

Digitized by Google

coïncide enfin avec le centre du soleil quand celui-ci est au zénith. Il en résulte que, quand le soleil est au zénith, les deux points neutres de MM. Babinet et Brewster se rencontrent au centre du soleil, et qu'alors le système des lignes de polarisation de l'atmosphère est celui d'un cristal à un axe.

Si le ciel était assez pur, on verrait sans doute un point neutre secondaire, compagnon du point neutre de M. Brewster; mais le climat de l'Angleterre et sans doute aussi celui de Paris ne se prêtent point à ce genre d'observations par trop délicates.

Dans ses observations sur son point neutre, M. Arago remarqua souvent qu'il s'éloignait du plan vertical passant par le soleil et le point antisolaire, et il attribua avec raison cette déviation à l'influence des nuages lumineux situés hors de ce plan. La même chose à lieu pour les autres points neutres. Mais ce n'est pas seulement la position des points neutres qui est affectée par la présence d'une lumière étrangère à celle du firmament : le degré de polarisation de la lumière atmosphérique varie considérablement lorsque des nuages éclairés, des objets terrestres lumineux, ou une lumière accidentelle quelconque, éclairent le champ de polarisation.

Sur le maximum de polarisation du firmament. — Si un rayon de lumière naturelle est réfléchi par un corps transparent quelconque sous un angle dont la tangente est égale à l'indice de réfraction, il est complétement polarisé ; ou si un rayon de lumière complétement polarisée dans un plan incliné de 45° sur le plan de réflexion est réfléchi par un second corps transparent, son plan de polarisation coïncidera avec le plan de réflexion, c'est-à-dire qu'il aura tourné de 45°. La polarisation complète est donc mesurée par une rotation de 45°. Si le rayon polarisé est réfléchi sous un angle plus grand ou plus petit que l'angle de polarisation maximum ou complète, son plan tournera, et la rotation de ce plan sera supérieure ou inférieure à 45°, suivant que l'angle de réflexion sera plus ou moins distant de l'angle de polarisation maximum ou complète.

Les différents degrés de rotation au-dessous de 45° peuvent être produits aussi par la réfraction du rayon polarisé à travers une ou plusieurs plaques de verre, et la rotation croît avec l'angle d'incidence.

On peut donc mesurer le degré de polarisation partout où la polarisation existe, en observant sous quel angle d'incidence elle est com-

Digitized by Google

pensée ou neutralisée par la réflexion sur la surface du milieu transparent, ou par la réfraction à travers une pile de lames transparentes. M. Brewster croit qu'il vaut mieux employer la réfraction, et c'est ainsi qu'il a construit le polarimètre à l'aide duquel il a déterminé le degré de polarisation du firmament. Il déterminait dans chaque cas ou l'angle variable sous lequel la lumière polarisée était compensée et neutralisée par un nombre suffisant de lames minces de verre, ou le nombre de lames minces de verre nécessaire à la production, sous un angle fixe, du même degré de polarisation.

Il a reconnu par ce moyen que le maximum de polarisation du ciel bleu serein est mesuré par une rotation du plan de polarisation égale à 30°, et que ce maximum prend place à une distance du soleil comprise entre 88 et 92° dans le vertical passant par le soleil et le zénith. Ce maximum dépend, quant à sa position et à son intensité, de l'état de l'atmosphère, mais on peut considérer 30° comme étant sa mesure et 90° comme étant sa distance dans l'état normal de l'atmosphère, et lorsque le soleil est sur l'horizon.

Sur la forme des lignes d'égale polarisation de l'atmosphère. — La polarisation de l'atmosphère, produite par la réflexion de la lumière solaire sur les particules aériennes, et dont le plan coïncide avec le vertical passant par le soleil et l'œil de l'observateur, devrait être la même sur tous les points d'un cercle dont le soleil ou le point antisolaire seraient le centre, s'il n'y avait point de cause perturbatrice et si l'atmosphère était parfaitement transparente. Dans ce cas la polarisation serait complète et de 45°, et le maximum aurait lieu à une distance du soleil telle que la moitié de cette distance fût précisément égale à l'angle de polarisation du milieu. Mais évidemment la distance au zénith du point polarisant que l'on considère dans le ciel devient la source d'une action perturbatrice en sens contraire de la polarisation produite par réflexion et la compense, aux points neutres déjà décrits. Si le soleil est à l'horizon, ces deux actions sont rectangulaires comme dans un cristal bi-axe, et l'on peut, en partant de ce fait, déterminer la forme des lignes d'égale polarisation, quand le soleil étant à l'horizon, l'atmosphère est parfaitement pure.

Considérés au point de vue le plus général, les phénomènes de la

Digitized by Google

polarisation atmosphérique pourraient être représentés par la formule :

$$R = 3^\circ . \sin D . \sin D',$$

dans laquelle R est la rotation ou le degré de polarisation, D et D' les distances du point dont on cherche la polarisation aux deux points neutres. Par suite de cette formule les lignes d'égale polarisation seraient des lemniscates comme dans les cristaux bi-axes, et la polarisation serait plus grande à l'horizon qu'au zénith : ce qui n'a pas lieu. Il faut donc, pour représenter ces phénomènes, tenir compte de l'action perturbatrice dépendante de la distance zénithale, et, en appelant Z cette distance, A l'azimut du point en question, la formule qui précède sera remplacée par la suivante :

$$R = 33^\circ \tfrac{1}{2} . \sin D . \sin D' - 6^\circ 34' . \sin Z . \sin A,$$

en supposant que la distance des points neutres au soleil et au point antisolaire est de 18° 30', quand le soleil est à l'horizon, et que l'atmosphère est très-pure et uniformément transparente. La direction de la polarisation suit la même loi que dans les cristaux bi-axes; les lignes sans bandes ou couleurs correspondent aux branches noires hyperboliques des anneaux produits par ces cristaux, et ces lignes sont vues très-distinctement dans le polariscope.

Sur la construction de la carte des lignes d'égale polarisation. — M. Brewster a tracé sur sa carte un nombre suffisant de lignes pour mettre en évidence les courbes fermées qui entourent les points neutres : ce nombre est 18 ½. Chaque courbe correspond à un nombre N déterminée par l'équation.

$$N = 20, 5' \sin D . \sin D' - 3. 9 \sin Z . \sin A.$$

Dans le plan qui passe par le soleil et le zénith, Z et A sont nuls, et l'on a :

$$N = 20, 5. \sin D . \sin D'.$$

Au zénith, N est égale à 18, 45 ; aux pôles P et P', N est nul.

N est exprimé, non en degrés, mais en nombre, et il est lié avec R par la relation R = N. 1° 626.

Le coefficient 1° 626 est la distance comprise entre deux courbes consécutives.

M. Brewster donne dans un tableau les valeurs de R ou de la ro-

Digitized by Google

tation du plan de polarisation correspondantes aux valeurs de N ou aux diverses courbes d'égale polarisation. Nous ne donnerons ici que quelques-uns de ces nombres, courbe $\frac{1}{2}$, 0,813; courbe 1, 1,626; courbe 5, 8, 130; courbe 10, 16, 260; courbe 15, 24, 396; courbe 18, 45; 30, 000.

Le maximum de la polarisation atmosphérique mesuré par une rotation de 30° est égal à la polarisation produite par la réflexion sur une plaque de verre sous l'angle de 65 $\frac{1}{2}$, avec un indice de réfraction égal à 1, 4826 $\frac{1}{2}$; ou à la polarisation produite sur la surface du diamant sous un angle de 75° $\frac{1}{2}$.

A mesure que le soleil s'élève sur l'horizon, les lignes d'égale polarisation changent de forme, et le degré de la polarisation varie même aux points du ciel situés à des distances invariables du soleil. Les points neutres situés au-dessus et au-dessous du soleil, se rapprochent de l'astre à mesure qu'il avance vers le méridien, et alors leur distance à l'astre est un minimum. Ils s'éloignent ensuite et parviennent au maximum de distance quand le soleil est à l'horizon. Pour les lieux où le soleil atteint le zénith ces deux points, ainsi que nous l'avons déjà dit, se réunissent eux-mêmes au zénith, et se séparent ensuite.

Quand le soleil descend au-dessous de l'horizon, le point neutre de M. Arago s'éloigne du point antisolaire; il est au maximum de distance lorsqu'on l'aperçoit le matin avant le lever du soleil : à mesure que le soleil s'élève, le point neutre se rapproche du point antisolaire, jusqu'à ce qu'il atteigne lui-même l'horizon et que sa distance au point antisolaire devienne un minimum.

Si la hauteur du soleil est de 45°, la distance x du point neutre situé au-dessus du soleil est de 13° 5′; la distance x' du point neutre situé au-dessous du soleil est de 6° 42′ : à une hauteur du soleil représentée par A, et Z étant la distance au pôle du point neutre de M. Brewster, les distances des points neutres au soleil sont données par les équations :

$$x = 18^\circ \tfrac{1}{2} \cos A,\ x' = \frac{18^\circ \frac{1}{2} \cos A}{\operatorname{tang} Z}.$$

M. Zantedeschi a publié dans le tome premier, dixième livraison des *Raccolta-fisicho-chemica Italiana*, un mémoire intéressant sur

Digitized by Google

les lois de la polarisation de la lumière solaire par une atmosphère sereine. En parlant de cette note que nous n'analyserons point, M. Brewster dit que quelques-uns des nombres qu'elle renferme diffèrent des résultats obtenus par lui, ce qui tient sans doute, ajoute l'illustre écrivain écossais, et à la différence des méthodes d'observation, ou à l'état de l'atmosphère ou du ciel dans les régions où les observations sont faites. Nous avons plus de confiance, nous l'avouons, en M. Brewster qu'en M. Zantedeschi, d'autant plus qu'il s'agit ici de polarimétrie, une des plus difficiles opérations de la physique moderne.

On voit, par ce qui précède, que M. Brewster s'est servi dans ces recherches du polariscope de M. Savart; on sait aussi quel mode de polarimétrie il a employé, puisqu'il le décrit avec assez de détails.

POLARISATION DE L'ATMOSPHÈRE.

Note sur l'observation du point neutre de M. BREWSTER, *le* 23 *juillet* 1846, *à* 5 *heures du soir*, par M. BABINET.

« La pureté remarquable de l'atmosphère le 23 de ce mois m'engagea à tâcher de reconnaître le point sans polarisation que M. Brewster a découvert entre cet astre et l'horizon pour des hauteurs convenables. Si l'on considère d'abord l'effet direct de l'illumination du soleil sur les particules d'air situées au-dessous de lui, la polarisation, nulle dans le voisinage de l'astre, augmente graduellement à mesure que les particules atmosphériques en sont plus distantes et se rapprochent plus de l'horizon. Il est évident, du reste, que le sens de cette polarisation est donné par le plan vertical qui contient le soleil et les molécules illuminées. D'autre part, si l'on considère l'illumination secondaire que reçoivent les mêmes particules aériennes par le reflet du reste de l'atmosphère qui leur envoie de la lumière polarisée horizontalement, on voit que la polarisation horizontale doit prédominer dans le voisinage du soleil, où elle n'est point neutralisée par la polarisation verticale que produit le soleil sur des molécules suffisamment éloignées et situées au-dessous de lui. Plus bas, où la polarisation verticale provenant de l'illumination directe du soleil est devenue plus forte, elle neutralise le reflet de l'atmosphère où domine la polarisation horizontale, et l'on a un point neutre; enfin, plus près en-

Digitized by Google

core de l'horizon, la polarisation verticale s'accroissant avec l'obliquité dans l'illumination solaire directe se trouve supérieure à la polarisation horizontale des rayons reflétés par l'atmosphère, lesquels viennent illuminer secondairement les mêmes points du ciel situés sous le soleil près de l'horizon. On aura donc immédiatement au-dessous du soleil une polarisation horizontale, puis un point neutre, puis une polarisation verticale. Lorsque l'éclat du soleil est affaibli par une couche de nuages suffisamment transparents et peu élevés, on observe avec étonnement, dans le voisinage du soleil, cette polarisation horizontale due au reflet de l'atmosphère, et qui fait apparaître les bandes du polariscope dans un espace où l'on n'a pas l'habitude de les trouver.

Le polariscope dont je me servais le 23 juillet est celui de Savart; c'est le seul qui puisse faire reconnaître le point neutre de M. Brewster, et même le mien, en un mot, tout autre point neutre que celui de M. Arago. On sait que les bandes colorées données par cet instrument dans la lumière polarisée ne sont pas exactement des lignes parallèles. Il n'est pas indifférent de mettre d'un côté ou de l'autre la direction où les bandes divergent ou convergent légèrement. On choisit la position qui donne le plus de netteté aux bandes et les rend le plus sensibles, en faisant faire un demi-tour sur lui-même au polariscope.

Le 23 juillet, après avoir observé, de demi-heure en demi-heure, depuis 2 heures après-midi, la polarisation de la région du ciel située sous le soleil, la régularité de cette polarisation parut s'altérer passé 4 heures, et depuis 5 heures moins un quart jusqu'à 5 heures un quart je pus observer, en mettant les bandes horizontales: 1° un espace sans polarisation au-dessous du soleil; 2° au-dessous de cet espace, un second espace où les bandes s'observaient sans aucune incertitude; 3° plus bas encore, un espace neutre où ne paraissaient aucunes bandes; 4° enfin, et arrivant jusqu'à l'horizon, un quatrième espace où les bandes étaient très-visibles et traversaient de droite à gauche, sans trop s'affaiblir dans le point immédiatement sous le soleil. Si, par contre-épreuve, on mettait les bandes verticales et descendant du soleil à l'horizon, on apercevait, du même coup d'œil, d'abord l'espace voisin du soleil sans polarisation, ensuite des bandes faibles, mais bien sensibles, interrompues, à peu de distance au-dessous, par un espace neutre après lequel reparaissaient de nouveau

Digitized by Google

des bandes dont l'extrémité inférieure atteignait l'horizon. Le phénomène n'est donc point douteux ; mais l'immense clarté du soleil dans un jour serein, l'intense illumination de l'atmosphère dans la partie du ciel située immédiatement au-dessous, le reflet de la terre vivement éclairée, tout concourt à rendre cette observation difficile à faire et très-pénible pour la vue, même en ayant soin d'abriter la tête et le polariscope des rayons directs du soleil et du reflet de la terre. La grande hauteur de l'astre tendait à diminuer beaucoup la polarisation horizontale de la lumière renvoyée sous le soleil par l'atmosphère, ce qui rendait le point neutre peu prononcé. M. Brewster a sans doute été guidé dans sa recherche par des vues théoriques : autrement il me paraît peu probable qu'il eût fait, par l'observation seule de la polarisation atmosphérique, la découverte remarquable de ce point neutre si difficile à reconnaître, et que depuis lui j'avais plusieurs fois tenté inutilement de retrouver. Le 23 juillet, le ciel était très-bleu jusqu'au moment de la plus grande chaleur du jour ; mais à 5 heures, il était blanchi par l'effet de la vapeur mêlée à l'air, et qui, comme on sait, en augmente la transparence : il ne m'a point paru que cette vapeur troublât la polarisation du ciel et s'illuminât sous ce point de vue autrement que l'air pur à teinte azurée. La petite quantité de lumière polarisée qui s'observe entre le point neutre de M. Brewster et le soleil me semble presque atteindre à la limite de ce qu'on peut observer, et peut-être dépasse-t-elle la limite de ce qu'on peut mesurer. Je ferai connaître plus tard le procédé que j'emploie pour mesurer la quantité de polarisation que présentent les diverses parties du ciel, soit tout à fait azuré, soit mélangé de vapeur blanchâtre. »

Note sur l'horloge polaire de M. WHEATSTONE, *construite et perfectionnée* par M. SOLEIL.

L'horloge polaire est un instrument d'optique destiné à indiquer l'heure par l'observation du plan de polarisation de la lumière du ciel bleu dans la direction du pôle.

Sa construction repose sur ce principe découvert par M. Arago, que la lumière, en un point quelconque du ciel bleu, est polarisée

Digitized by Google

dans le plan qui passe par l'œil de l'observateur et le soleil : d'où il résulte que, si l'observateur vise toujours au pôle nord, le plan de polarisation coïncidera à chaque instant avec le cercle horaire du lieu de l'observation.

L'instrument présenté à l'Académie par M. Soleil est d'une simplicité extrême. C'est essentiellement le polariscope de M. Arago, pointé dans chaque lieu suivant l'axe du monde. Dans cet instrument, la plaque de cristal de roche, perpendiculaire à l'axe, est remplacée par une plaque à deux rotations donnant le plan de polarisation par l'égalité des teintes, et il est muni d'un cadran perpendiculaire sur lequel on lit l'heure indiquée par la trace même du plan de polarisation.

Le polariscope est porté par une colonne verticale, montée sur un pied muni de vis calantes, d'un niveau et d'un cercle divisé mobile; on peut donc le placer tour à tour dans les divers azimuts; on peut en outre, à l'aide d'un cercle de latitude fixé à l'axe de rotation, lui faire faire un angle quelconque avec l'horizon : l'instrument, par là même, se prête merveilleusement à l'étude de la polarisation d'un point quelconque du ciel; il fera retrouver sans trop de peine les points neutres de MM. Arago, Babinet, Brewster, etc.

Quand on veut en faire une horloge polaire fixe, on oriente une fois pour toutes l'appareil, en amenant le polariscope dans le plan du méridien; l'orientation, d'ailleurs, se fait par les mêmes procédés qui servent à orienter un cadran solaire, à l'aide d'une boussole de déclinaison, par exemple, d'un chronomètre ou d'une bonne montre. On commence par faire indiquer au cercle de latitude la latitude du lieu; on l'amène approximativement dans le plan du méridien, puis, après avoir fait indiquer au vernier l'heure à laquelle va se faire l'orientation, on tourne doucement à droite ou à gauche, pour obtenir que l'égalité de teintes ait lieu au moment précis où la montre marquera l'heure dont il s'agit.

Le cadran perpendiculaire à l'axe du polariscope est divisé, sur sa partie supérieure, en douze parties égales représentant douze heures, de six heures du matin à midi et de midi à six heures du soir. Chacun de ces douze intervalles est divisé en douze parties correspondantes à cinq minutes; le vernier, à son tour, partage ces dernières parties en cinq : on lit donc par le vernier les minutes,

Digitized by Google

ce qui est plus que suffisant pour ce genre d'observations, qui ne comporte pas une précision plus grande.

L'élévation du pôle rendrait l'observation trop incommode; il faudrait en effet percher l'instrument sur un pied très-élevé, ou se mettre dans une position gênante. M. Soleil a fait disparaître cet inconvénient en plaçant, à l'extrémité du tube, un prisme à hypoténuse qui, par la réflexion totale, renvoie dans une direction perpendiculaire les images des deux disques colorés. Une petite lunette, que chacun amène au foyer, fait voir les images avec toute la netteté possible.

Pour faire l'observation ou connaître l'heure à un instant quelconque, on tourne à droite ou à gauche le bouton fixé au cercle des heures, jusqu'à ce que les teintes des deux demi-disques violets soient parfaitement égales. On lit avec le vernier l'heure et la minute cherchées.

Il sera bon d'exécuter sur l'autre bord du cercle des heures une autre division en degrés et minutes, qui servira à déterminer simplement le plan de polarisation d'un point quelconque du ciel.

M. Arago a fait suivre la présentation de l'instrument de M. Soleil des remarques suivantes :

L'idée de faire servir les changements de couleur des lunules du polariscope, pointé dans une direction donnée sur un ciel serein, à la détermination de l'heure; l'idée de faire un cadran chromatique n'est pas nouvelle : elle remonte à 1816. A cette époque je m'en entretins plusieurs fois avec M. de Humboldt; mais n'ayant, je crois, rien publié à ce sujet, l'honneur de la construction de l'horloge polaire, je le reconnais avec empressement et sans réserve, revient exclusivement à M. Wheatstone. Au reste, la méthode, indépendamment des incertitudes inhérentes à l'observation des couleurs, est sujette à des difficultés très-graves, provenant de la manière dont les réflexions multiples modifient les lois simples de la polarisation atmosphérique, quand le ciel est partiellement couvert.

A cette occasion je rappellerai un cas de changement de couleur très-curieux, très-étrange, en ce sens qu'il s'observe sur certains corps par un ciel serein, à l'œil nu, sans l'intermédiaire d'aucun cristal.

Placez un de ces corps, une plaque de cuivre convenablement ver-

Digitized by Google

nie, de manière qu'au coucher du soleil, par exemple, il soit placé entre l'œil et le couchant. Le corps sera, je suppose, vert. Il paraîtra vert également si, sans rien changer aux positions relatives de l'œil et du corps, on se tourne vers le levant. Si au même moment, tout restant dans le même état quant à la position et à l'inclinaison du rayon visuel, on regarde le corps dans la direction du Sud ou dans celle du Nord, il paraîtra d'un rouge vif. Dans les directions intermédiaires, les couleurs du corps sont des mélanges de rouge et de vert dans lesquels ces deux espèces de rayons prédominent chacune à leur tour.

Sur divers phénomènes météorologiques, par M. ÉLIE WARTMANN.

I. *Sur un mirage par une forte bise.* — Il était sept heures et quarante minutes avant midi. La bise soulevait sur le lac ses vagues écumantes. Au sud-est, quelques vapeurs flottaient à l'horizon; partout ailleurs le ciel était d'un bleu pur. En se servant d'une bonne lunette de $0^m,068$ d'ouverture, et qui grossissait trente fois, M. Thury découvrit à la hauteur de Coppet, dans la direction de Genève, les deux voiles latines d'une barque dont le corps ne s'apercevait absolument pas. Un peu au-dessous de l'extrémité inférieure de ces voiles, on distinguait le commencement de leur image renversée. Cette image, incomplète, se terminait brusquement à la surface agitée et bien nette de l'eau. L'espace qui séparait les voiles de leur image avait une couleur bleu-verdâtre uniforme. Les couches d'air les plus basses ondulaient d'une manière très-sensible.

Cette dernière circonstance, et la situation de l'image au-dessous de l'objet qu'elle représentait, sont des preuves que le phénomène résultait d'un échauffement de l'atmosphère plus considérable dans les couches inférieures que dans les régions plus élevées. Mais pour que le corps du bâtiment fût invisible, et que les contours des objets, examinés dans la lunette à 14 mètres au-dessus du niveau des eaux, fussent parfaitement arrêtés, il fallait que la zone d'air plus chaude se terminât sous le vent vers la base des voiles, c'est-à-dire à 3 ou 4 mètres plus haut que la surface du lac. L'existence d'une zone ainsi limitée est donc possible avec le souffle d'une bise assez forte pendant les quelques minutes nécessaires pour l'observation.

II. *Sur des rayons bleus.* — Le 30 novembre dernier, peu avant

Digitized by Google

le lever du soleil, M. Thury aperçut à Nyon, au-dessus des montagnes qui bordent le lac à l'orient, des strates horizontales de nuages légers teints d'un beau jaune. Le ciel, vu dans leurs intervalles, était d'une couleur azur foncé. Vers le point de l'horizon où le soleil allait paraître, un rayon bleu sombre s'élevait en divergeant jusqu'à une grande hauteur et occupait un espace où on ne distinguait aucun nuage. Cette apparence disparut au bout de deux ou trois minutes.

Ce qu'on a nommé rayon me paraît être, au contraire, un phénomène d'ombre. La lumière du soleil, arrêtée par quelque obstacle hors de vue, laissait invisibles dans une région déterminée du ciel les vapeurs transparentes situées près de l'horizon, tandis qu'à droite et à gauche elle les teignait en s'y jouant. L'espace non éclairé devait offrir à l'œil une couleur bleue d'autant plus remarquable qu'elle contrastait fortement avec celles des couches avoisinantes d'un jaune d'or. La forme divergente du rayon est une illusion bien connue de perspective. Ce qui augmentait en apparence l'écartement de ses bords vers sa partie supérieure, c'était la moindre quantité de vapeurs existant dans les régions élevées.

Il est à regretter que M. Thury n'ait pas pu mesurer la hauteur du rayon ; elle aurait aidé à déterminer la position et peut-être la nature de l'écran qui le produisait. Si cet écran est une sommité du massif des Alpes de Savoie, l'apparence doit se présenter d'une manière périodique vers le 30 novembre et le 13 janvier, lorsque les conditions atmosphériques sont favorables. Des observateurs placés dans les localités convenables décideraient facilement de la vérité de cette supposition.

III. *Sur les rayons crépusculaires solitaires.* — J'ai décrit, en 1846, un météore d'un caractère tout autre que celui des rayons bleus, et qui consistait en une bande lumineuse unique, verticale, haute de 35°, sans aucune trace de divergence. J'ai trouvé depuis que M. le professeur Christie avait vu deux fois un phénomène à peu près analogue en 1834. Voici la traduction d'une lettre peu connue, dans laquelle il rendait compte de son observation au professeur J.-D. Forbes :

« J'ai observé une lueur très-remarquable et bien définie qui partait du soleil au moment de son coucher. Elle avait la forme d'un

Digitized by Google

rayon appuyé sur l'astre, et conserva sa même position pendant une demi-heure. Ce rayon était absolument vertical ; son éclat diminuait avec sa hauteur, et il se terminait à environ 20° ou 25° au-dessus de l'horizon. Depuis sa base jusqu'à l'extrémité, il allait en divergeant (expanding), mais d'une faible quantité. Aucun rayon latéral ne l'accompagnait. Il n'appartient donc pas à cette classe ordinaire de rayons lumineux que produit une ouverture dans un nuage. Le 30 juin, premier jour où je l'aperçus, avait été découvert et chaud. Au moment de l'observation, on voyait au-dessus du soleil de légères bandes de vapeur qui augmentaient de densité vers l'horizon, et sur lesquelles le rayon se montrait. Il n'existait, du reste, aucun vrai nuage dans le ciel.

» Je pensai que ce phénomène pouvait provenir d'une succession d'images du soleil imparfaitement réfléchies par des bandes de vapeurs légères, et toutes les apparences que j'ai remarquées à sa seconde apparition n'ont fait que donner plus de probabilité à cette hypothèse ; toutefois, de nouvelles observations sont nécessaires pour décider si mon explication est conforme à la vérité. »

Je dois faire observer que les rayons étudiés par M. Christie étaient moins étendus que la bande vue à Lausanne et à Genève. De plus, ils avaient une divergence sensible, tandis que les bords de celle-ci étaient absolument parallèles. Enfin, le 31 mai 1846, il soufflait une bise telle que le ciel était parfaitement pur. Les registres météorologiques du Saint-Bernard, de Lausanne et de Genève, en font foi.

Il ne paraît donc pas qu'on puisse assimiler entièrement ces diverses apparences. La théorie proposée par le savant Anglais doit être contrôlée par de nouvelles observations, ainsi qu'il en convient lui-même. Il sera utile de faire avec le polariscope quelques recherches sur l'état de la lumière des rayons solitaires et de celle de l'atmosphère dans les parties avoisinantes.

Sur les ombres atmosphériques, par M. L. WARTMANN.

Le 31 juillet dernier, vers 3 heures après midi, je me trouvais au signal de la Dôle, à 1680 mètres au-dessus de la mer. En examinant les couches d'air comprises entre mon œil et le fond du lac, vers

Digitized by Google

l'Est, j'ai vu quatre bandes à peu près parallèles entre elles et également espacées, qui, inclinées vers le soleil, paraissaient s'élever depuis la surface des eaux jusqu'à une hauteur de trente degrés environ. Ces bandes sombres, mais peu distinctes, avaient le même aspect que la traînée obscure produite par le nuage dans une région du ciel très-différente. Elles s'en distinguaient cependant par leur largeur, qui était beaucoup moindre ; chacune ne sous-tendait qu'un degré en diamètre. Elles se sont déplacées d'une manière sensible vers le sud-est, à mesure que le soleil déclinait vers l'horizon. Leur visibilité a persisté au moins deux heures, pour mes compagnons comme pour moi. Mais nous n'avons su à quelle cause les attribuer. Aucun obstacle visible dans l'immense panorama que nous dominions ne pouvait produire des ombres dans leur direction et servir ainsi à expliquer leur présence.

La disposition par étages des vapeurs atmosphériques peut quelquefois engendrer des apparences qui se confondent avec celles des ombres. Une observation très-prolongée et les variations de teinte des bandes obscures servent à éviter l'erreur. Un exemple de ces fausses ombres s'est offert à moi deux jours après, du haut du plateau de la Basilette. Quelques minutes avant le coucher du soleil, le fond du ciel prit une teinte grise très-marquée, sur laquelle tranchaient trois bandes horizontales assez longues, d'une couleur plus plombée, et qui convergeaient vers l'orient. Ces bandes, qui auraient dû présenter une distribution inverse, si elles eussent été des parties de l'espace privées de lumière, se colorèrent peu à peu en rose vif quelques minutes après l'arrivée du crépuscule. Elles n'étaient donc formées que par une brume légère suspendue à une grande hauteur dans l'atmosphère.

PHÉNOMÈNES CÉLESTES.

Des chapelets dans les éclipses annulaires, par M. B. POWELL.

L'auteur considère le fait de l'existence du phénomène en question comme suffisamment établi, quoiqu'il y ait de grandes différences entre les récits qu'en ont donnés les différents observateurs. Ces observations diffèrent surtout relativement au caractère fixe ou flottant de

Digitized by Google

ces chapelets et à leur degré de transformation en filaments, qui ont été vus quelquefois par certains observateurs et non par d'autres, lorsque les circonstances ont présenté quelques différences. Ces dissidences, l'auteur croit devoir les attribuer, dans quelques cas, aux différents verres colorés qui ont été employés, et dans d'autres à la perte de lumière, comme, par exemple, lorsque les images sont projetées sur un écran. Il pense que l'explication que M. Caldecott a donné de l'état onduleux des chapelets, qu'il croit dû à un mirage atmosphérique, n'est pas satisfaisante, et il est plutôt disposé, avec M. Airy, à l'attribuer en partie au décroissement rapide de l'intensité de la lumière du soleil vers les bords.

M. Powell croit pouvoir établir que l'ensemble des phénomènes observés est dû à deux causes, savoir : au décroissement rapide de la lumière sur le bord du soleil, et à la loi connue de l'irradiation suivant laquelle l'épanouissement augmente avec l'augmentation de l'intensité de la lumière. Ce point admis, il affirme que chaque petite ouverture ou brèche sur le bord de la lune doit donner naissance à une image agrandie ou faisceau de lumière dilaté par irradiation, et que cet effet sera beaucoup plus considérable à mesure que la portion qui l'occasionne sera plus avancée sur le disque du soleil, ce qui explique la formation des chapelets et leur élongation.

De plus, lorsque leur continuité est rompue, les mêmes causes rendent compte de l'étendue de la séparation et de ce fait qu'elle se manifeste à un plus grand degré vers les côtés qui sont les plus éloignés de la circonférence.

L'auteur continue ensuite à développer l'explication qu'il a donnée, au moyen de figures qui s'appliquent aux différentes phases du phénomène, et il considère les principes posés dans cette explication comme possédant tous les caractères d'une *véritable cause*, quoiqu'ils ne suffisent pas pour expliquer tous les phénomènes.

Il décrit ensuite les différentes apparences sous lesquelles les chapelets doivent nécessairement s'être montrés aux divers observateurs, et il les explique tant en partant de sa théorie que par la circonstance qu'il y a des différences dans le pouvoir grossissant et l'ouverture de l'objectif des télescopes dont on se servait. Il espère présenter prochainement à la Société quelques éclaircissements relatifs à une explication plus complète de ce phénomène.

Digitized by Google

Il est douteux que les mêmes principes fournissent une explication de certaines particularités, en apparence analogues, et qui ont été observés dans les passages de Vénus, par exemple ; mais, en général, l'adhérence de la planète au limbe du soleil par une boucle au point de jonction de la protubérance du disque vers le même point de séparation sont des apparences qui s'accordent suffisamment bien avec la cause assignée ci-dessus, c'est-à-dire avec l'irradiation.

Dans un appendice à son Mémoire, M. Powell rapporte les observations de l'éclipse du 9 octobre 1847. dans laquelle on a observé quelques chapelets avec un limbe onduleux, mais sans augmentation ou élongation des ombres en fils, ou autre changement quelconque. Dans le cas des observations de M. Schaub, la combinaison complémentaire employée a pu par la perte de lumière avoir détruit les effets de l'irradiation. Or, comme l'anneau formé était très-mince, la différence des intensités dans la lumière solaire pour la largeur de la bande a dû être très-faible, et, par conséquent, les causes rapportées ci-dessus ont dû agir d'une manière sensible. On pourrait rendre facilement compte du phénomène, ainsi que le fait observer M. Mauvais, par la simple irrégularité du limbe de la lune au moment où il a touché celui du soleil.

Observations physiques pendant l'éclipse totale de lune du 19 mars 1848, par M. BABINET.

« On sait que dans une éclipse totale de lune cet astre ne disparaît pas totalement ; une lumière sensible pénètre dans l'ombre de la terre.

» Cette lumière peut provenir de trois sources : 1° de la portion de l'atmosphère de la terre illuminée par le soleil et visible du point qu'occupe la lune, laquelle lumière est sensiblement blanche ; 2° de la lumière infléchie dans l'ombre par la réfraction régulière de l'atmosphère qui, dans les régions inférieures de l'air, étant double de la réfraction horizontale, permet aux rayons réfractés d'atteindre l'axe du cône d'ombre de la terre en un point moins éloigné de la terre que ne l'est le satellite en opposition : cette lumière doit être, sauf l'absorption, de teinte indigo ou bleue, c'est-à-dire de l'espèce des rayons les plus réfrangibles ; enfin, en troisième lieu, il y a la lumière diffractée qui pénètre dans l'ombre de la terre. Celle-ci est

Digitized by Google

d'autant plus rouge ou orangée qu'on la prend plus près du centre de l'ombre géométrique ; car ce sont les rayons les moins réfrangibles qui se propagent le plus abondamment par diffraction, à mesure qu'on s'éloigne de la propagation en ligne droite.

» Or cette dernière teinte a toujours prédominé, et même a été seule sensible dans l'illumination de la lune éclipsée dernièrement. Jamais, d'ailleurs, la surface lunaire n'a offert une teinte plate. La partie voisine du centre de l'ombre terrestre a toujours été plus obscure et d'une teinte plus foncée en rouge obscur que la partie opposée ; en un mot, la lumière observée sur le satellite a toujours été, pour la teinte et pour l'intensité, telle que devait l'être la lumière infléchie due à la diffraction. Il serait intéressant que quelques-uns de nos jeunes physiciens entreprissent de calculer, d'après les lois de Fresnel, la teinte et l'intensité de cette lumière, calcul que l'on pourrait vérifier ensuite par l'observation des teintes analysées au prisme et par des comparaisons photométriques.

» J'ajouterai que, près du moment où l'éclipse totale du 19 mars était près de finir, le bord de la lune qui allait recevoir la lumière directe du soleil paraissait, par opposition, très-brillant, mais c'était une illusion : car alors les objets éclairés par la lune ne projetaient point d'ombres sensibles, tandis qu'au moment même où le moindre espace de surface lunaire a reçu la lumière solaire directe, les ombres sont devenues subitement très-sensibles. Il me semble que la disparition ou l'apparition de ces ombres caractérise d'une manière très-précise le commencement et la fin de l'éclipse totale. »

PHÉNOMÈNES TERRESTRES

De la couleur de l'eau des glaciers, par MM. DUROCHER et Charles MARTINS.

Dans un mémoire lu à l'Académie des Sciences le 15 mars 1847, M. Durocher avait affirmé que l'interposition de l'eau entre les pores et fissures de la glace grenue contribue puissamment à y développer la couleur bleue que l'on y admire. M. Charles Martins répond le 26 mars que la couleur bleue des glaciers lui paraît tenir plutôt à l'absence de l'air qu'à la présence de l'eau : la glace blanche, dit-il, est,

Digitized by Google

en effet, infiltrée d'eau comme la glace bleue, mais elle est de plus entièrement remplie de bulles d'air sphériques. M. Durocher affirmait encore que les eaux qui s'écoulent des champs de neiges et des glaciers présentent une teinte bleue très-prononcée, et que les détritus qui sont mélangés à cette eau ne produisent d'autre effet que de pâlir la teinte bleue en la faisant passer au blanc sale. M. Martins veut, avec M. Agassiz et autres observateurs, que les eaux des glaciers ne soient jamais bleues. Parmi les lacs de la Suisse alimentés par les glaciers, les uns sont d'un bleu azur admirable comme le lac de Genève, quelques-uns, comme le lac de Brienz, sont d'une teinte vert-pistache très-prononcée; d'autres enfin, comme le lac de Kloenthal, ne se distinguent pas par leur couleur verte des prairies qui les entourent. Rien n'égale l'azur des eaux du Rhône sortant du lac de Genève; elles forment un contraste frappant avec les flots gris et limoneux de l'Arve, qui vient directement des glaciers de Chamonix. Le caractère assigné par MM. Ebel et Durocher aux eaux des glaciers est donc sujet à des exceptions tellement nombreuses, qu'il perd toute valeur scientifique. Il arrive souvent que des eaux formées uniquement par des glaciers ne présentent la teinte bleue, ni à l'état de repos, ni à l'état de mouvement.

M. Durocher cependant maintient son assertion; il affirme toujours que la couleur bleue que l'on admire sur les glaciers est due en partie à l'interposition de l'eau, et que les eaux qui s'écoulent des champs de neige et de glace, présentent une teinte bleue tirant sur le vert; qu'il n'est pas un seul des glaciers de la Suisse qui, à l'état de repos, n'offre une teinte bleue ou verte.

M. Martins réplique encore et soutient : 1° que les eaux sortant des glaciers sont toujours troubles; 2° qu'à l'état de répos elles forment des lacs, tantôt bleus et tantôt verts; 3° qu'après s'être purifiées dans un lac, elles sont incolores, bleues ou vertes. M. Durocher voudrait que les parties émergées des glaçons flottants perdent leur teinte bleue à mesure que l'eau, s'écoulant des fissures de la glace, est remplacée par de l'air. M. Martins, qui a vu chavirer d'innombrables masses de glace, n'a jamais aperçu ce changement de couleur; mais il a constaté, comme tous ceux qui ont séjourné sur les glaciers de la Suisse, que la surface de la glace bleue exposée à l'air

Digitized by Google

et à la chaleur prend, à mesure que l'air s'échappe des fissures, une teinte de plus en plus blanche. Il y a longtemps que M. Agassiz a dit que la glace est d'autant plus blanche quelle contient un plus grand nombre de bulles d'air.

Enregistrons enfin une dernière réponse de M. Durocher : il maintient toutes ses conclusions, et trouve très-naturel que les eaux qui s'écoulent des neiges et des glaces présentent une teinte bleue, puisque la teinte bleue est la teinte propre de toutes les eaux chimiquement pures, sans dépôt et sans mélange de substances organiques.

Couleurs accidentelles de l'eau, par M. de HALDAT.

L'aspect d'une eau parfaitement limpide dans un vase bien transparent, et qui présente une couleur bleu céleste très-prononcée dans les fentes des glaciers, ne peut être sans intérêt pour ceux qui recherchent les causes des phénomènes naturels. Tranquille, l'eau de la mer a la couleur du sol sur lequel elle repose quand elle est très-peu profonde ; elle réfléchit celle du ciel bleu quand sa profondeur est plus considérable ; elle paraît d'un vert sombre en haute mer, par suite de l'absorption d'une partie des rayons lumineux qui tombent sur elle, et enfin elle est d'un vert tirant au noir dans les grandes profondeurs, où ils se perdent presque en totalité. Si le ciel offre des nuages avec des espaces couleur saphir, la mer devient opaline lorsqu'elle est légèrement agitée, par suite du mélange des couleurs qu'elle nous renvoie. Son aspect est terne et sombre par la raison contraire, quand le ciel est obscur et chargé de nuages ténébreux. Quand elle est fortement agitée, l'aspect de ses vagues est extrêmement varié à raison de leur effets prismatiques, de leur transparence inégale, et du mélange des corpuscules opaques qu'elles emportent dans leur mouvement. Le brillant éclat des vagues et de leurs replis variés s'explique quand on les compare aux corps polis à forme cylindrique. On ne trouve enfin aucune difficulté à se rendre compte de son aspect effrayant dans les tempêtes, de son éclat éblouissant, de ses couleurs resplendissantes au lever et au coucher du soleil, etc., etc. N'ayant pas de couleur propre, les eaux prennent celle de tous les objets qui s'y réfléchissent ou qui s'y réfractent.

Digitized by Google

Les eaux du lac Léman, sans couleur à leur origine, quoique produites par des filets colorés dans les glaciers, incolores dans tout le trajet, reprennent une teinte bleue saphir quand, pressées par la masse qui les pousse vers le lieu déclive, elle s'écoulent avec une prodigieuse rapidité en quittant Genève qu'elles enrichissent et embellissent à la fois. Sa couleur dépend ici de sa limpidité, de l'épaisseur de la masse, de sa position resserrée et un peu obscure, etc.; et elle n'est qu'accidentelle.

M. de Haldat croit que la couleur des glaciers ne résulte que d'accidents de lumière dont on n'aurait pas encore trouvé la cause. On attribue la couleur de la grotte d'azur, grotte bleue de l'île de Capri, à ce fait que la grotte, étant séparée de la pleine mer par un rocher qui descend à fleur d'eau, la lumière n'y pénètre guère que par réfraction, c'est-à-dire en traversant une masse d'eau très-considérable; M. de Haldat ne trouve pas cette explication complétement suffisante.

Il a vu dans le Wurtemberg une fontaine à bassin circulaire dont le diamètre n'excéde pas trois mètres, dont la profondeur moyenne n'atteint pas un mètre, et qui présente une nappe d'eau d'une couleur bleue très-prononcée. Puisée dans des vases transparents, cette eau ne présente aucune trace de couleur bleue. La fontaine n'est pas couverte par les arbres, son bassin limoneux n'offre qu'une teinte grisâtre, etc. A quelle cause peut-on attribuer une couleur si rémarquable? M. de Haldat croit ce fait tout à fait inexplicable dans l'état actuel de la science.

De la lumière bleue qui éclaire la grotte d'azur, par M. MELLONI.

Cette grotte ne reçoit jamais la lumière directe du soleil, et sa couleur ne peut être due qu'à la lumière qui traverse l'eau. On a cru que la couleur vert-glauque de la mer propre à l'eau dans les lieux plus profonds pouvait se changer en bleu à une profondeur plus grande, et que les particules du liquide réfléchissent dans l'intérieur de la grotte une lumière rendue bleue par simple transmission. Mais M. Melloni a constaté par des expériences directes que la couleur verte se conserve à toute profondeur, et il faut chercher ailleurs la cause de l'azur qui colore l'intérieur de la grotte de Capri.

Digitized by Google

Après avoir rappelé le fait capital de l'absorption, en vertu de laquelle la lumière transmise par les corps diaphanes diffère quelquefois du tout au tout, par la couleur, de la lumière primitive, et s'être assuré qu'en absorbant une partie des rayons l'eau de mer teint en vert-glauque la lumière qu'elle transmet, M. Melloni cite l'expérience suivante : si l'on suspend à l'extrémité d'un cordon un fragment de marbre ou de quelque autre substance blanche et pesante, et que par une mer calme et paisible on le fasse plonger lentement et peu à peu sous un ciel bien bleu, dans une eau limpide et profonde comme l'est celle qui entoure les sites agrestes de la grotte de Capri, l'on verra la couleur verdâtre revêtue par le marbre à son entrée dans l'eau se marier peu à peu au bleu, et cette dernière nuance augmenter à mesure que le marbre descend davantage, jusqu'à ce qu'enfin il paraisse d'un beau bleu pur, quelques instants avant que la profondeur le dérobe à la vue.

En partant de cette expérience, le savant physicien croit pouvoir expliquer facilement le phénomène optique de la grotte de Capri. Cette même espèce de rayons, dit-il, d'où provient la couleur bleue des eaux limpides et profondes, se transmettant abondamment à travers l'ouverture considérable située sous le niveau de la mer, et dominant le peu de lumière directe qui y pénètre par l'étroite ouverture sur-marine, teindra les parois de la grotte, les barques, les personnes elles-mêmes de cette magnifique couleur d'azur qui frappe les observateurs de surprise et d'admiration. Cette couleur cependant devra varier nécessairement de vivacité, suivant l'état du ciel et l'agitation de la mer ; c'est ce qui arrive en effet.

M. Melloni donne, en terminant, un moyen simple de reproduire artificiellement le phénomène principal de la grotte de Capri :

On prend un tube de ferblanc, long de douze à quinze décimètres et large de un à deux centimètres, muni, d'un côté, d'une embouchure ayant une forme et des dimensions telles que le globe de l'œil la remplisse exactement. Du côté opposé on dispose transversalement, en façon de diaphragme, une feuille de papier blanc très-fin, et l'on y adapte ensuite un tube conique long de six ou sept décimètres dont les parois sont inclinées de trente ou quarante degrés, afin que les rayons de lumière peu éloignés du parallélisme de l'axe

Digitized by Google

puissent se recueillir directement sur le papier, après une ou plusieurs réflexions.

Muni de cet instrument, l'expérimentateur entrera dans une barque et se transportera dans un lieu à l'ombre, où l'eau soit bleue; il plongera dans l'eau une bonne partie du cône, et, tenant le tube vertical, il appliquera l'œil à son extrémité supérieure. Au bout de quelques instants de calme, le papier lui apparaîtra resplendissant d'une lumière bleue.

Or les rayons bleus du ciel, réfléchis par la surface de la mer, ne peuvent, certes, pénétrer dans le tube ainsi disposé verticalement, non plus que les images réfléchies des couleurs provenant de la réfraction, qui devraient évidemment recomposer la lumière blanche par la superposition des spectres appartenant aux filets de lumière qui se réfractent de chaque bande sous diverses inclinaisons autour de l'ouverture du cône. Le phénomène observé dérive donc de la couleur propre de la mer, ou, plus exactement, de la propriété que possèdent ses eaux limpides et profondes de réfléchir, ou mieux, diffuser les rayons azurés, tandis qu'elles absorbent et transmettent tous les autres éléments de la lumière répandue dans l'atmosphère.

Dans ses célèbres instructions données à l'occasion du voyage de la Bonite, M. Arago avait consacré un article spécial à la couleur de la mer. Nous en extrairons quelques détails précieux.

Quelle est la couleur de l'eau de l'Océan? A cette question les réponses seront à peu près identiques : c'est le bleu d'outre-mer, bleu indigo, bleu céleste, azur vif.... Le bleu céleste plus ou moins foncé, c'est-à-dire, mélangé avec de petites ou avec de grandes proportions de lumière blanche, semblerait donc devoir être toujours la teinte de l'Océan.

Pourquoi n'en est-il pas ainsi?

Première réponse. Les eaux de la mer sont souvent imprégnées de matières étrangères... de là des zones vertes, des zones rouge-carmin, la teinte brune près de l'embouchure des rivières, etc.

Deuxième réponse. La teinte bleue céleste se trouve modifiée ou quelquefois totalement changée dans les parages où l'eau est peu profonde, parce que la lumière réfléchie par le fond arrive à l'œil confondue avec la lumière naturelle de l'eau.

L'eau se trouve dans la condition des corps dichroïques ou qui

Digitized by Google

possèdent deux sortes de couleurs : une certaine couleur transmise, et une couleur réfléchie totalement différente de la première.

L'eau paraît bleue par réflexion. Quelques personnes croient (M. Melloni l'a démontré) que la couleur transmise est verte. L'eau disperse dans tous les sens, après l'avoir bleuie, une portion de la lumière blanche qui vient l'éclairer ; cette lumière dispersée est sa couleur propre, comme liquide. Quant aux autres rayons irrégulièrement transmis, leur passage à travers l'eau les verdirait, et cela d'autant plus fortement que la masse traversée aurait plus d'épaisseur. Dans le cas d'une mer peu profonde, à fond de sable blanc, ce sable ne reçoit la lumière qu'à travers une couche d'eau ; elle arrive donc déjà verte, et c'est avec cette teinte qu'il la réfléchit. Mais dans le second trajet que font les rayons lumineux à travers le même liquide, en revenant du sable à l'air, leur teinte verte se fonce quelquefois assez fortement pour prédominer à la sortie sur le bleu. Voilà peut-être tout le secret de ces nuances qui, pour le navigateur expérimenté, sont l'indice certain et précieux des hauts fonds. L'expérience de M. Melloni ne contredirait-elle pas un peu cette explication ?

Troisième réponse. Les vagues de l'Océan sont des espèces de prismes : quand deux vagues s'approchent d'un bâtiment, une portion de la lumière que la face extérieure de la seconde vague réfléchit traverse la première, s'y réfracte de haut en bas, et arrive ainsi à l'observateur placé sur le pont. Voilà donc, de nouveau, de la lumière transmise, de la lumière par conséquent verdie, qui parvient à l'œil en même temps que les teintes bleuâtres ordinaires ; voilà donc une mer verte par la prédominance de la couleur transmise sur la couleur réfléchie. Les *vagues-prismes* ne devront pas toujours produire des effets identiques, quel que soit le sens de leur propagation, et l'on doit s'attendre à trouver quelques variations dans la teinte de la mer quand le vent viendra à changer.

Quelques personnes persistent à assigner un rôle important au bleu atmosphérique dans la production du bleu de l'Océan ; cette idée peut être soumise à une épreuve décisive. Les rayons bleus de l'atmosphère ne reviennent de l'eau à l'œil qu'après s'être régulièrement réfléchis. Si l'angle de réflexion est de 37°, ils sont polarisés. Une tourmaline, un prisme de Nicol pourra servir à les éliminer en tota-

Digitized by Google

lité, et dès lors le bleu de la mer sera vu à part, sans aucun mélange étranger.

M. Arago indique enfin un moyen très-simple de résoudre la question de la couleur propre de la mer. On prend un large prisme creux, en glace, dont l'angle réfringent soit, par exemple, de 45°; on le plonge partiellement dans l'eau, de manière que l'arête de son angle réfringent soit en bas, et horizontale, et que l'une des faces de cet angle, celle qui est tournée vers le large, soit verticale: il en résultera, comme conséquence nécessaire, que l'autre face sera inclinée à l'horizon de 45°. Dans cette disposition la lumière de l'eau située au-dessous de la surface frappe perpendiculairement la glace verticale du prisme, pénètre dans son intérieur, traverse la petite quantité d'air qu'il renferme, atteint la seconde glace, et là se réfléchit verticalement de bas en haut. En regardant dans cette glace inclinée, l'observateur pourra donc juger de la couleur propre qu'a l'eau par réfraction, tout aussi bien que si son œil était dans le liquide.

RAYONS CALORIFIQUES.

Comme la chaleur n'entre que secondairement dans le plan de notre répertoire, et seulement par les rapports intimes qui lient le calorique rayonnant à la lumière, nous supprimerons l'analyse étendue des mémoires relatifs à la radiation, à la diffusion, à la transmission, etc., de la chaleur, en nous contentant d'énoncer les propositions nouvelles établies d'une part par M. Knoblauch, de l'autre par MM. de La Provostaye et Desains.

Sur les pouvoirs rayonnants, absorbants et diffusifs des corps solides, par MM. MASSON et COURTÉPÉE.

Les auteurs ont eux-mêmes résumé, dans les termes suivants, les résultats des recherches consignées dans leur Mémoire.

1° Tous les corps réduits au plus grand degré de division chimique ont le même pouvoir absorbant et le même pouvoir diffusif pour les sources de chaleur à 100 degrés.

2° Les mêmes corps paraissent avoir les mêmes pouvoirs absorbants et diffusifs pour des sources obscures à 400 degrés.

Digitized by Google

3° Toutes les substances qui absorbent complétement la lumière absorbent et diffusent également la chaleur, quelle qu'en soit la source.

4° Toutes les substances, autres que les substances noires, ont montré sensiblement le même pouvoir absorbant et diffusif, et ont conservé les mêmes rapports pour une source lumineuse, quelle que soit la modification qu'on lui ait fait subir par des écrans de diverse nature. Le phosphate de chaux seul fait exception à cette règle ; son pouvoir diffusif est très-faible relativement à son pouvoir absorbant.

Recherches sur la chaleur rayonnante, par M. KNOBLAUCH.

1° L'aptitude des rayons de chaleur rayonnante à traverser certaines substances n'est nullement en rapport avec la température de la source.

2° La chaleur est également transmise à travers une glace de verre, quelle que soit la surface de la source, noir de fumée, verre, papier, laine et soie, etc.

3° La facilité avec laquelle la chaleur rayonnante traverse les corps diathermanes n'est pas en rapport avec la température de la source, comme on le croyait antérieurement ; elle ne dépend que de la nature des substances diathermanes qui sont traversées inégalement par les différents rayons calorifiques, que la température de leur source soit plus basse ou plus élevée.

4° A intensité égale de la chaleur rayonnante, le réchauffement d'un corps est indépendant de la température de la source et ne dépend que de la nature des substances absorbantes.

5° Les corps essayés s'échauffent, dans les limites des expériences, d'autant plus qu'ils sont plus épais.

6° La température d'une substance augmente d'autant plus avec l'accroissement de son épaisseur, qu'elle est moins diathermane pour les rayons qui arrivent jusqu'à elle.

7° La chaleur par la réflexion diffuse (sous le rapport de son passage à travers les substances diathermanes) est modifiée d'une manière très-variable par quelques corps et à un très-haut degré, tandis que d'autres corps ne lui font rien éprouver.

8° Les changements que la chaleur éprouve par la réflexion dépendent principalement de la nature de la source calorifique.

Digitized by Google

9° La chaleur et la lumière ne peuvent être considérées comme identiques. L'on ne remarque aucun parallélisme entre la réflexion de la lumière et la réflexion de la chaleur.

10° Parmi tous les corps analysés jusqu'ici, il n'y a que les cristaux qu'on puisse considérer comme des corps blancs vis-à-vis de la chaleur, c'est-à-dire qui réfléchissent la chaleur de toutes les sources avec une égale intensité, et où la chaleur qu'ils réfléchissent ne peut se distinguer de celle transmise non réfléchie. Il n'y a que le noir de fumée et le charbon animal qui se comportent comme des corps noirs vis-à-vis de la chaleur, c'est-à-dire qui ne réfléchissent aucune espèce de rayons calorifiques.

11° L'éraillement de la surface n'exerce d'influence sur le pouvoir rayonnant des corps qu'autant que cette opération modifie leur densité et leur dureté. Ce pouvoir est augmenté ou diminué suivant que l'éraillement diminue ou augmente la densité des parties respectives de la surface du corps rayonnant.

12° Le pouvoir rayonnant des substances examinées est le même, quelle que soit la nature des rayons de chaleur qui produisent l'échauffement.

13° Dans les circonstances où les mêmes corps manifestent un pouvoir absorbant inégal, leur pouvoir rayonnant est le même, et les différences jusqu'ici observées, à échauffement inégal, sont fonctions, exclusivement, du premier pouvoir, c'est-à-dire du pouvoir absorbant, et indépendantes du second, c'est-à-dire du pouvoir rayonnant.

14° La chaleur rayonnée entre les limites de température de 25° à 90° R par des corps adiathermanes, dans des conditions diverses de surface et chauffés par conductibilité, pénètre d'une manière égale les substances diathermanes soumises à son influence.

15° La chaleur rayonnée par des corps différents pénètre toujours dans la même proportion les milieux diathermanes dont on se sert pour l'examiner, quelle que soit la nature des rayons de chaleur par l'absorption desquels ces corps se sont échauffés.

16° La chaleur rayonnée par des corps adiathermanes et diathermanes dans les limites de ces expériences pénètre parfaitement de la même manière les milieux exposés au rayonnement. L'épaisseur des substances rayonnantes est tout à fait indifférente.

Digitized by Google

17° Généralement, par tous les moyens qui étaient jusqu'ici en notre pouvoir, nous avons reconnu comme étant toujours la même, la chaleur rayonnée par les corps solides les plus divers à épaisseurs différentes et dans les conditions diverses de surface expérimentée, de quelque manière que l'on ait produit la chaleur dans ces corps, dans les limites de ces expériences, c'est-à-dire entre 25° et 90° R.

18° Si la chaleur qui sort de la substance à examiner, après qu'on l'expose aux rayons d'une lampe d'Argand, ne peut pas être distinguée dans son rayonnement de la chaleur d'une substance quelconque connue comme adiathermane, la substance est adiathermane elle-même. Si on observe au contraire des différences, la substance à examiner est diathermane.

Recherches sur la chaleur rayonnante, par MM. DE LA PROVOSTAYE et P. DESAINS.

1° En feuilles minces, l'or a un pouvoir émissif plus que double de celui de l'argent; l'argent pur laminé a un pouvoir émissif de trois fois et demie à quatre fois plus petit que celui du platine travaillé de la même manière; enfin, le cuivre rouge, en plaques polies pour la gravure, est, au point de vue de l'émission, intermédiaire entre les deux métaux précédents.

2° Pour l'argent mat, le pouvoir rayonnant est deux fois et demie plus grand que pour l'argent en feuilles, et pourtant sa valeur n'a pas paru excéder les cinq centièmes de celui du noir de fumée. Suivant Leslie, l'or et l'argent en feuilles minces auraient un pouvoir émissif égal à douze centièmes.

3° Les pouvoirs réfléchissants des métaux pour la chaleur sont très-considérables.

4° Les pouvoirs réflecteurs ne paraissent pas changer avec l'incidence pour des angles inférieurs à 70°. — Lorsqu'on a atteint cette valeur, ils éprouvent une *diminution* qui devient fort appréciable à 75° et à 80°. Il a été impossible d'observer avec sécurité dans des directions plus rasantes; on ne peut savoir, dès lors, si la diminution continue jusqu'à 90°, ou si elle résulte d'un minimum.

5° Le pouvoir réflecteur du verre *augmente* très-rapidement avec l'incidence.

Digitized by Google

6° Une couche métallique polie, aussi mince qu'on peut l'obtenir par les procédés électro-chimiques, réfléchit autant de chaleur qu'un miroir massif de la même substance.

7° Le pouvoir réflecteur des métaux, variable avec leur nature, dépend peu de la manière dont ils ont été travaillés, pourvu que leur degré de poli soit le même.

8° Dans le cas des métaux polis, presque toute la chaleur est renvoyée dans la direction de la réflexion régulière. A une distance appréciable de cette direction, on n'en trouve que des traces à peine sensibles.

9° Si la chaleur tombe perpendiculairement sur une surface mate, la portion renvoyée par diffusion est symétriquement distribuée autour du rayon incident, comme on pouvait s'y attendre, et, de plus, décroît à mesure qu'on s'écarte de cette direction.

10° Si le flux tombe obliquement sur une surface de cette espèce, la distribution de la chaleur diffuse n'est symétrique ni autour de la normale, ni autour de la direction du maximum.

11° Enfin on obtient des résultats intermédiaires, lorsque les substances employées ne sont ni parfaitement mates, ni parfaitement polies.

Longueurs d'ondes des rayons calorifiques, par M. FIZEAU.

M. Fizeau s'est proposé de déterminer les longueurs d'ondes des rayons calorifiques invisibles qui prolongent le spectre solaire au delà des rayons rouges. La mesure directe de ces longueurs n'a pu être tentée jusqu'ici et présenterait d'ailleurs les plus grandes difficultés : l'auteur a cherché à déduire cet élément de la considération des spectres à bandes d'interférence qui ont été décrits et étudiés dans un autre travail, fait en commun avec M. Foucault, sur les interférences des rayons calorifiques. Dans ce travail, les auteurs ont constaté que les bandes d'interférence qui sillonnent ces spectres dans toute leur étendue sont communes à la chaleur et à la lumière ; ils ont trouvé, de plus, qu'il existe des bandes semblables dans la partie invisible du spectre située au delà du rouge, et ont fixé la position de ces bandes invisibles en mesurant leurs distances aux bandes visibles ; la position de ces dernières a été fixée elle-même par rapport aux raies du spectre. En considérant ces phénomènes d'après les

Digitized by Google

principes des interférences posés par Fresnel, on trouve une relation entre les longueurs d'ondes de trois rayons et le nombre des bandes qui les séparent ; ces longueurs ayant été mesurées très-exactement par Fraunhofer pour sept rayons du spectre B, C, D, E, F, G, H, on peut introduire dans la formule ces valeurs pour deux rayons; elle donne alors la longueur d'onde d'un rayon en fonction du nombre de bandes que l'on peut compter dans le spectre entre ce rayon et l'un des deux pour lesquels cette valeur est regardée comme connue.

La position des bandes calorifiques invisibles n'a pu être étudiée que dans le cas où l'interférence est produite au moyen d'une lame cristallisée parallèle à l'axe placée entre deux polariseurs. Dans cette circonstance, il entre dans le calcul un élément qui présente de l'incertitude, c'est la dispersion de double réfraction. Cet élément n'a pu être introduit qu'au moyen d'une hypothèse que l'auteur regarde comme suffisamment justifiée par les résultats pour lesquels la longueur d'onde est connue, la concordance étant alors très-satisfaisante. Pour que cette cause d'incertitude pût influer sur les nombres trouvés, il faudrait admettre des anomalies extraordinaires et peu probables dans la dispersion des rayons de chaleur invisibles.

L'auteur donne les résultats du calcul pour les points principaux de la région obscure: ceux qui présentent un maximum, un minimum ou une raie ; parmi ces nombres, nous rapporterons les suivants ; ce sont des millionièmes de millimètre la longueur d'onde pour le violet : extrême H étant, d'après Fraunhofer, 393, et pour le rouge B 688 , on trouve pour les rayons calorifiques invisibles 1011, 1196, 1320, 1445; ce dernier nombre correspond au point occupé par une raie remarquable; pour un point plus éloigné, 1745; enfin, pour la limite de la chaleur sensible, lorsque le spectre est formé au moyen d'un prisme de flint, 1940.

Sur la double réfraction de la chaleur rayonnante, par M. H. KNOBLAUCH.

L'auteur fait arriver dans une chambre obscure un faisceau de chaleur solaire réfléchi dans une direction constante au moyen d'un héliostat d'August. Après son passage à travers deux écrans d'acier à fentes étroites et parallèles, ce faisceau traverse un corps biréfrin-

Digitized by Google

gent, et les deux éléments dans lesquels il se divise sont reçus sur une pile thermo-électrique formée de quinze éléments linéaires, bismuth-antimoine. Il est arrivé ainsi aux résultats suivants :

1° La double réfraction de la chaleur est facile à constater avec un rhomboèdre de chaux carbonatée dont les faces de cristallisation sont naturelles. On obtient ainsi deux faisceaux de rayons séparés, dont l'un conserve une position fixe, et autour duquel l'autre se meut lorsqu'on tourne le cristal dans son plan ;

2° Avec un cristal perpendiculaire à l'axe, ces effets n'ont pas lieu pour des rayons parallèles à cet axe ;

3° L'intensité des deux faisceaux, ainsi que leur somme, est égale à l'intensité des radiations caloriques qui émergent d'un spath perpendiculaire à l'axe, de même épaisseur que celui qui a séparé ces faisceaux.

Sur la polarisation de la chaleur rayonnante par réflexion, par M. H. KNOBLAUCH.

Depuis 1812, la question de la polarisation de la chaleur par réflexion a beaucoup préoccupé les physiciens. Les expériences de Bérard et celles de P. Erman montrèrent directement que le phénomène existe. Plus tard, Baden-Powell et Nobili déclarèrent n'avoir point réussi à répéter les essais de leurs prédécesseurs. En 1835, M. Forbes reprit avec succès les expériences de Bérard en se servant du thermo-multiplicateur et de feuilles de mica comme surface réfléchissante. Il trouva même des indices de polarisation en employant des miroirs métalliques contre les assertions de Bérard et de Nobili.

Plus récemment MM. Forbes et Melloni ont cherché à déterminer le rapport qui existe entre le degré de polarisation et l'angle de réflexion, mais leurs expériences n'ont pu se faire que d'une manière indirecte. Il restait à chercher directement en quoi la polarisation dépend de l'angle de réflexion sur des miroirs de verre et de métal.

Dans ce but, M. Knoblauch reçoit les rayons réfléchis sur un prisme de Nicol mobile, et examine avec un thermo-multiplicateur le degré de polarisation.

Afin d'obtenir l'intensité maximum des rayons réfléchis sur un

Digitized by Google

miroir noir (intensité qui, du reste, n'est pas très-considérable), l'auteur lie directement ce miroir avec le mécanisme d'horlogerie de son héliostat, de manière qu'il fasse en 48 heures une révolution autour de son axe. Tout en gardant ainsi une direction invariable avec l'analyseur, ces rayons se réfléchissent sous des angles différents avec le miroir. Mais comme le changement n'est que d'un quart de degré en deux minutes, tandis que la répétition d'un essai ne prend pas plus de temps, il s'ensuit qu'aucune erreur sensible ne peut s'introduire par là dans l'estimation des effets causés par une différence de 5 en 5 degrés dans les angles d'incidence.

Dans une de ses séries d'expériences, M. Knoblauch employa un verre dont la masse entière est noire et dont l'épaisseur est de 6^{mm}, 75. Sa petite diathermancité rendait très-peu sensible l'influence des rayons réfléchis par sa surface postérieure, tandis qu'un verre simplement noirci sur une face n'aurait point pu être employé dans le cas actuel.

Une seconde série d'essais a été faite au moyen d'un miroir de métal. L'auteur déduit de ses recherches :

1° Que le degré de polarisation augmente d'abord à mesure que l'angle formé par les rayons avec le miroir noir diminue; vers 35 degrés on trouve un maximum à partir duquel la polarisation décroît ;

2° Que sur un miroir d'acier le degré de polarisation augmente à mesure que l'angle formé par les rayons avec le miroir diminue; vers 15 degrés on observe un maximum à partir duquel une diminution de l'angle en entraîne une dans la polarisation.

Il résulte de là que l'angle maximum avec l'acier est non-seulement bien différent de ce qu'il est avec le verre, mais aussi que sa valeur est bien plus faible dans le premier que dans le second cas. Cette circonstance rappelle la polarisation elliptique des miroirs métalliques.

Ces recherches ont conduit l'auteur à comparer les intensités de la chaleur réfléchie sous diverses incidences par ses miroirs de verre et d'acier. C'est un sujet dont MM. Forbes, Buff, de la Provostaye et Desains s'étaient déjà occupés. Il a trouvé qu'à mesure que l'inclinaison des rayons diminue sur la surface réfléchissante, l'intensité des rayons réfléchis augmente avec le verre noir et diminue avec

Digitized by Google

l'acier. L'augmentation dans le premier cas est telle qu'avec un angle de réflexion de 10° l'intensité devient égale à celle de la chaleur réfléchie sur le miroir de métal, tandis que pour un angle de 60° elle n'en est que la sixième partie. M. Buff n'avait pas fait des expériences assez nombreuses pour contrôler le résultat erroné auquel il était parvenu, savoir, que l'acier se comporte comme le verre.

Sur la polarisation de la chaleur rayonnante par la réfraction simple, par H. KNOBLAUCH.

M. Forbes, qui a le premier constaté la polarisation des rayons calorifiques réfractés, et M. Melloni, qui a répété et étendu ces recherches, se sont servis, dans ce but, de deux piles de feuilles de mica. Les résultats auxquels ils sont parvenus, en étudiant diverses sources de chaleur, diffèrent en ceci, que M. Melloni pense avoir constaté une polarisation égale et M. Forbes une polarisation différente pour les divers rayons.

Le physicien italien a formulé, comme on le sait, les lois suivantes de la polarisation par simple réfraction :

1° La portion de chaleur polarisée par des piles de mica est d'autant plus grande que l'angle formé par les surfaces inclinées sur le rayon est plus petit ;

2° La polarisation de la chaleur, lorsqu'on emploie un nombre suffisant de feuillets, atteint un maximum auquel elle se maintient dans toutes les inclinaisons plus faibles ;

3° L'angle, toujours compté à partir de la surface, pour lequel cette valeur invariable a lieu, augmente avec le nombre des feuilles de mica.

M. Knoblauch a tenté des expériences semblables avec des feuilles de verre qui présentent l'avantage d'être à la fois non cristallisées et uniréfringentes.

Ces feuilles ont été disposées comme les piles de glace de l'appareil de Fresnel. Les premiers essais ont eu lieu avec deux piles, dont l'une faisait la fonction de polariseur et l'autre celle d'analyseur. Le tableau suivant indique les résultats obtenus. La première colonne indique les angles formés par les rayons incidents avec la normale aux piles. Les quatre dernières colonnes montrent la quantité de rayons polarisés sur cent par divers nombres de plaques.

Digitized by Google

Angles.	3 plaques.	6 plaques.	9 plaques.	12 plaques.
0°	0	0	0	0
20°	0	0	0	13
40°	0	13	25	50
60°	21	53	76	100

Répétée avec des piles de mica, l'expérience a donné :

Angles.	3 plaques.	6 plaques.	9 plaques.	12 plaques.
0°	0,0	0,0	0,0	0,0
20°	1,1	1,9	8,1	18,4
40°	4,0	4,4	9,5	44,4
60°	25,3	52,9	72,2	74,2

M. Knoblauch a ensuite repris la pile de verre comme polariseur, et, en se servant d'un prisme de Nicol pour analyseur, il a trouvé :

Angles.	3 plaques.	6 plaques.	9 plaques.	12 plaques.
0°	0,0	0,0	0,0	0,0
20°	9,6	17,4	30,0	43,8
40°	21,6	52,5	63,3	70,0
60°	36,2	80,9	96,4	100,0

Enfin, pour se rendre indépendant de l'influence perturbatrice des miroirs métalliques de son héliostat, l'auteur a refait une nouvelle série d'essais en employant le prisme de Nicol comme polariseur et la pile de verre comme analyseur. Alors tous les rayons qui arrivaient à celle-ci étaient polarisés linéairement. Il a obtenu les nombres suivants :

Angles.	3 plaques.	6 plaques.	9 plaques.	12 plaques.
0°	0,0	0,0	0,0	0,0
20°	8,6	13,0	20,4	50,0
40°	25,0	38,4	51,2	68,6
60°	47,4	79,9	91,7	100,0

Ainsi, comme l'avait trouvé M. Melloni avec le mica, le degré de polarisation de la chaleur rayonnante croît, pour un nombre constant de plaques de verre, avec l'angle des rayons sur la normale; et, pour un angle constant, avec le nombre des plaques.

Digitized by Google

Sur la polarisation de la chaleur rayonnante par double réfraction, par M. le docteur H. KNOBLAUCH.

Après avoir rappelé les travaux de ses devanciers; M. Knoblauch prouve:

1° Que la chaleur est complétement polarisable à travers un prisme de Nicol. Cette remarque a le double intérêt de montrer qu'on peut expérimenter avec cet appareil sans avoir à lutter contre l'absorption de substances colorées, telle que la tourmaline, et que les rayons de chaleur présentent, comme la lumière, le phénomène de la réflexion totale;

2° Que les deux faisceaux de rayons séparés par la double réfraction sont polarisés dans des plans rectangulaires entre eux;

3° Que, lorsqu'un flux de chaleur rayonne à travers deux prismes de Nicol entre lesquels on a disposé un spath calcaire à faces naturelles, la rotation de celui-ci abaisse ou élève la température. Les maxima obtenus par le croisement à angle droit des sections principales, passant par les angles obtenus des prismes de Nicol, sont égaux aux minima que détermine la rotation du cristal entre des prismes de Nicol dont les sections principales sont parallèles.

Dans cette dernière position des Nicol, les maxima sont doubles des minima que produit la rotation du cristal. Enfin, toutes choses égales d'ailleurs, ces effets n'ont pas lieu avec un spath taillé perpendiculairement à l'axe cristallographique;

4° Que les flux calorifiques traversent, en proportions égales, un spath qu'on leur présente suivant diverses directions : cette loi, due à M. Melloni, se trouve ainsi vérifiée;

5° Que le flux reste homogène, quelle que soit la direction de son passage à travers le cristal.

6° On voit donc que la seule influence exercée par un spath calcaire sur les rayons calorifiques qui le traversent consiste à produire en quantité variable avec sa direction les phénomènes de la réfraction double et de la polarisation.

Digitized by Google

Sur la polarisation de la chaleur, par MM. F. DE LA PROVOSTAYE et P. DESAINS.

« M. Arago a reconnu depuis longtemps que la lumière qui sort obliquement des corps solides ou liquides incandescents est polarisée perpendiculairement au plan d'émission ; mais, comme il ne paraît pas que les physiciens aient examiné jusqu'ici si l'analogie se soutient sur ce point entre les phénomènes calorifiques et lumineux, nous nous sommes occupés d'abord de combler cette lacune. Nous prenions pour source de chaleur une lame de platine maintenue au rouge par la flamme d'une lampe d'alcool à double courant. Les rayons émis sous un angle d'environ 70 degrés avec la normale traversaient une pile de mica formée de deux lames inclinées à 35 degrés sur l'axe du faisceau, et venaient ensuite rencontrer la pile de l'appareil de Melloni. Dans une de nos séries d'expériences, la déviation du galvanomètre a été de 24,5, lorsque le plan de réfraction du mica était parallèle à celui de l'émission, et seulement de 8,3, lorsqu'il lui était perpendiculaire. Ces nombres sont les moyennes de plusieurs observations dont les extrêmes différaient à peine de quelques dixièmes ; mais, comme notre appareil polariscopique n'était pas un polarimètre, nous ne les considérons pas comme donnant une mesure de la proportion de chaleur polarisée.

« Avec le platine platiné noir, avec le fer oxydé, la proportion de chaleur polarisée nous a paru beaucoup moindre. Enfin, pour toutes ces substances, les signes de polarisation ont disparu quand l'émission a eu lieu dans une direction à peu près normale à la surface.

» Après avoir ainsi reproduit l'analogue du phénomène observé par M. Arago, nous avons cherché si, en opérant avec la chaleur obscure, on arriverait aux mêmes résultats, ce qui n'était pas évident *à priori*, vu les grandes différences de qualité qui existent entre les flux de chaleur émanés des sources de températures très-différentes.

» Dans une première série d'expériences, la lame de platine étant un peu au-dessous du rouge, les déviations observées dans les deux positions rectangulaires du mica ont été 11,2 et 3,5.

» Dans une seconde série, la température étant notablement plus

Digitized by Google

basse, et la plaque entièrement obscure, nous avons obtenu les déviations 4,5 et 1,5.

» Ainsi rien n'indique que la polarisation de la chaleur émise diminue avec la température : il est donc fort probable qu'elle existe à tous les degrés de l'échelle thermométrique ; toujours est-il qu'avec le platine platiné, substance qui polarise moins fortement que le platine métallique, mais qui émet plus de chaleur, nous avons pu obtenir des résultats fort nets à une température comprise entre 330 et 360 degrés.

» L'existence d'une proportion plus ou moins considérable de chaleur polarisée dans les rayons émis par les corps à toute température nous paraît un fait important pour la théorie de la chaleur. En effet, pour expliquer comment se maintient l'équilibre de la température dans une enceinte préservée de tout refroidissement extérieur, on admet en général que la chaleur qui chemine dans cette enceinte est naturelle. Ne pouvant concilier cette hypothèse avec l'existence de la polarisation par réflexion, M. Poisson croyait devoir, d'une part, n'admettre cette polarisation que pour la chaleur lumineuse, et, d'autre part, regarder l'équilibre comme impossible dans un espace fermé dont les parois seraient à haute température. Il nous semble que notre travail pourrait bien donner la clef des difficultés qui préoccupaient le célèbre géomètre; en effet, la chaleur envoyée par un élément dans une direction déterminée a été en partie réfléchie à sa surface, et en partie émise. Si ces deux faisceaux, qui, séparés, seraient polarisés dans des plans rectangulaires, contiennent des quantités de chaleur polarisée égales, leur ensemble se comportera comme de la chaleur naturelle, et l'équilibre s'établira comme à l'ordinaire. Cette égalité entre les quantités de chaleur qu'un élément, pris dans une enceinte à température uniforme, polariserait par réflexion et par émission, peut être admise comme une extension naturelle d'un principe établi par M. Arago dans ses recherches sur la polarisation par réfraction; mais nous n'entrerons aujourd'hui dans aucun autre détail sur ce point, parce que nous nous proposons d'y revenir dans une communication ultérieure. »

Digitized by Google

Sur la polarisation de la chaleur, par MM. F. DE LA PROVOSTAYE et P. DESAINS.

« Le fait de la polarisation de la chaleur, annoncé par M. Bérard, a été mis hors de doute par les expériences de MM. Forbes et Melloni; mais on a peu étudié jusqu'à ce jour les propriétés des rayons qui ont subi cette modification. Cette étude exige des faisceaux complétement polarisés et le plus souvent aussi formés de rayons parallèles. Or, ces conditions ne sont pas satisfaites quand on prend, comme on le fait ordinairement, pour appareil polarisant une tourmaline ou une pile de mica, et pour source une lampe ou la lame métallique chauffée.

» On arrive, il nous semble, à des résultats satisfaisants en opérant avec de la chaleur solaire, et la faisant passer à travers un spath achromatisé. Les deux faisceaux émergents sont complétement polarisés et composés de rayons parallèles. Enfin, à cause de leur grande intensité, on peut les prendre fort étroits, ce qui donne de la sûreté dans l'orientation et dans l'appréciation des angles. Rien ne peut alors empêcher de résoudre expérimentalement un grand nombre de questions qui n'ont pas été abordées jusqu'ici.

» Dans cette première communication, après avoir vérifié ce que M. Knoblauch (*Annales* de Poggendorff, tome LXXIV) avait annoncé, que la chaleur qui traverse un spath se partage en deux faisceaux d'intensités égales, complétement polarisés dans le plan de la section principale, ou dans un plan perpendiculaire, nous démontrons;

» 1° Que la loi suivant laquelle, d'après Malus, l'intensité d'un rayon complétement polarisé se partage entre les images ordinaires et extraordinaires auxquelles il donne naissance en traversant un spath, est applicable à la chaleur comme à la lumière;

» 2° Que les variations qu'éprouve l'intensité de la chaleur polarisée dans sa réflexion sur le verre, sous différentes incidences, sont exactement représentées par les formules que Fresnel a données pour la lumière, en admettant que la chaleur solaire, qui a traversé le prisme, a un indice peu différent de 1, 5;

» 3° Qu'il y a la plus parfaite ressemblance entre les phénomènes que présentent, en se réfléchissant sur les métaux polis, la lumière et la chaleur polarisées. »

Digitized by Google

Les auteurs rapportent ensuite plusieurs nombres relatifs à la réflexion sur le verre et les métaux, de la chaleur polarisée soit dans le plan d'incidence, soit perpendiculairement à celui-ci, savoir : sur l'acier, sur le métal des miroirs, sur le platine et sur l'argent. Ces nombres tendent tous à confirmer les conclusions ci-dessus énumérées. Ils sont aussi d'accord avec les formules de M. Cauchy. »

Sur les interférences des rayons calorifiques, par MM. H. Fizeau et L. Foucault.

« Les expériences qui font le sujet de ce mémoire ont pour but de rechercher si les rayons calorifiques possèdent, comme les rayons lumineux, la propriété d'interférer ou de s'influencer mutuellement, de manière à s'ajouter et à se détruire suivant les conditions dans lesquelles ils se rencontrent.

» Le procédé d'observation employé consiste à étudier la distribution de la chaleur dans les divers phénomènes qui prennent naissance lorsque les rayons lumineux interfèrent. Les franges qui se produisent dans ces circonstances étant de leur nature peu intenses, et de petites dimensions, il a fallu recourir à des moyens thermoscopiques très-délicats.

» Nous avons employé pour cette étude des thermomètres à alcool, auxquels on peut donner des dimensions très-petites, et, en même temps, une grande sensibilité ; les mouvements de la colonne étaient observés au microscope, et des divisions placées dans l'oculaire servaient à les mesurer.

» Le meilleur thermomètre que nous ayons pu nous procurer pour ces recherches a un réservoir sphérique dont la dimension n'excède pas $1^{mm},1$; la valeur de 1 degré centigrade sur la tige est cependant encore de huit millimètres. En plaçant dans l'oculaire du microscope un micromètre divisé en dixièmes de millimètres, on s'est assuré que chaque division parcourue par la colonne équivalait à 1/400 de degré.

» L'instrument était placé dans une enceinte exactement close, afin qu'il fût à l'abri des mouvements de l'air et des changements brusques de la température. Plusieurs ouvertures fermées par des glaces permettaient d'introduire les rayons soumis à l'expérience et

Digitized by Google

d'observer la colonne avec le microscope placé extérieurement. Une disposition particulière permettait, en outre, d'observer avec exactitude la position du thermomètre au milieu des franges lumineuses.

» Des observations successives, faites dans des points très-rapprochés, faisaient connaître la distribution de la chaleur. Pour chaque point, l'observation était double : l'une faite en admettant les rayons, l'autre en les interceptant; la moyenne de ces deux nombres obtenus donnait l'élévation de température due à l'action des rayons. Le changement de température de l'enceinte étant toujours lent et régulier, son influence se trouvait ainsi annulée.

» Nous avons étudié de cette manière la répartition de la chaleur dans les principaux phénomènes où les interférences des rayons lumineux se manifestent. Après quelques essais, nous avons reconnu que, malgré la sensibilité de nos moyens thermométriques, cette étude n'était possible qu'en employant la lumière solaire pour la production de ces phénomènes, toutes les autres sources de lumière et de chaleur étant beaucoup trop faibles.

» 1° *Franges produites au moyen de deux miroirs inclinés l'un sur l'autre.* — En produisant ces franges dans des dimensions assez grandes pour que le réservoir du thermomètre n'occupât que le quart d'une frange brillante, nous avons trouvé des signes d'interférence incontestables dans le voisinage de la frange centrale blanche. Dans une des observations rapportées dans le Mémoire, on a trouvé les nombres suivants pour les élévations des températures en divisions du micromètre : 20,9, 35,9, 20. Le nombre le plus élevé correspond à la frange centrale, et les deux plus petits à la première frange obscure qui limite à droite et à gauche la précédente.

» Les expériences ont été variées de plusieurs manières, et toutes s'accordent à montrer que, dans ce phénomène, il existe des franges calorifiques de dimensions semblables à celles des franges lumineuses.

» 2° *Spectres à bandes brillantes et obscures obtenus en analysant par le prisme les phénomènes d'interférence produits dans la lumière polarisée par les lames cristallisées.* — Lorsqu'on forme un spectre avec de la lumière modifiée par l'influence combinée de la polarisation et de la double réfraction, dans les circonstances où,

Digitized by Google

pour de petites épaisseurs du corps biréfringent, se manifesteraient les couleurs des lames cristallisées, on donne naissance à un spectre discontinu, formé de bandes alternativement brillantes et obscures, dues aux interférences des deux rayons produits par la double réfraction de la lame cristallisée.

» Cette expérience a été décrite avec détail dans un précédent travail sur le phénomène des interférences dans le cas de grandes différences de marche. Nous rappellerons seulement que, dans cette circonstance, bien que l'observation porte simultanément sur les rayons de toutes les couleurs, c'est comme si l'on observait dans toute la lumière simple, car les effets de l'interférence sont distincts et séparés pour chaque rayon simple.

» La recherche de la distribution de la chaleur dans ces spectres présentait un intérêt particulier, surtout parce qu'il devenait possible d'étudier, sous le point de vue des interférences, les rayons calorifiques obscurs découverts par Herschel au delà de l'extrémité rouge du spectre visible.

» Nous rapportons avec détails les résultats de cette étude, dans le cas d'une lame de gypse de $0^{mm},83$. Une lame de cette épaisseur produit dans le spectre huit bandes obscures ; la largeur des bandes brillantes qui les séparent était telle que le thermomètre occupait un sixième de la bande située dans le jaune. Pour la partie du spectre calorifique formée par les rayons invisibles situés au delà du rouge, la position du thermomètre a été relevée à chaque observation et rapportée au spectre visible.

» Il résulte de cette étude que la chaleur est distribuée comme la lumière dans le spectre visible, le centre des bandes lumineuses présentant un maximum de chaleur, et le centre des bandes obscures un minimum ; dans la région invisible du spectre, la distribution est analogue : on a fixé la position de quatre bandes non calorifiques séparées par des bandes calorifiques.

» Pour distinguer de ces bandes d'interférence trouvées dans cette région calorifique invisible les inégalités d'intensités signalées dans cette région par J. Herschel, on a constaté qu'elles disparaissent en tournant de 45 degrés la section principale de la lame de gypse. Nous avons trouvé que cette intensité varie, en effet, d'une manière très-irrégulière : à une distance de la raie A, égale à celle qui sépare cette

Digitized by Google

raie de la raie D, nous avons reconnu l'existence d'une raie très-large où il n'existe aucune chaleur sensible.

» En tournant l'un des plans de polarisation de 90 degrés, on donne naissance à un spectre complémentaire du précédent, et qui a été étudié de la même manière. Les bandes calorifiques sont alors remplacées par des bandes non calorifiques, et réciproquement.

» En substituant à la lame de gypse une lame de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, on peut observer dans le spectre les rotations que les plans de polarisation des couleurs éprouvent de la part de ce cristal : le phénomène consiste en des bandes semblables aux précédentes ; la distribution de la chaleur est également semblable.

» Aussi l'on trouve toujours : 1° que des bandes d'interférence se manifestent dans toute l'étendue du spectre calorifique, toutes les fois qu'il s'en produit dans le spectre lumineux ; 2° que, dans toute l'étendue du spectre lumineux, les bandes lumineuses coïncident avec les bandes calorifiques.

» 3° *Diffraction produite par un bord rectiligne unique.* — Nous avons, de plus, étudié le cas le plus simple de la diffraction, celui où l'on produit des franges par l'interposition d'un écran terminé par un bord rectiligne : ce phénomène étant nécessairement très-petit, son étude a présenté des difficultés assez grandes ; cependant nous avons obtenu des résultats intéressants en produisant les franges dans des dimensions telles que le thermomètre occupât la moitié de l'espace entre la première et la seconde frange obscure, telles qu'on les voit avec un verre rouge. La position de la limite géométrique de l'ombre avait été déterminée par un procédé particulier.

» Lorsque le thermomètre, d'abord situé dans l'intérieur de l'ombre, pénètre graduellement dans l'espace éclairé, on observe qu'il commence à monter avant d'atteindre la limite géométrique de l'ombre ; il continue à monter rapidement en pénétrant dans la première frange brillante, atteint un maximum vers le bord de cette frange, voisin de la première frange noire, puis d'une manière continue, à mesure qu'il pénètre dans l'espace éclairé, pour atteindre bientôt un état stationnaire. Ainsi, dans le lieu occupé par la première frange brillante, il existe une frange calorifique de diffraction, dans laquelle la température est plus élevée que dans les points où les rayons parviennent directement sans avoir été influencés par l'écran. »

Digitized by Google

Inflexion et dispersion de la chaleur rayonnante, par M. KNOBLAUCH.

Tandis que le travail de MM. Fizeau et Foucault n'a pour objet que la recherche des points alternativement plus chauds et moins chauds, par une différence dans la marche des rayons calorifiques, l'auteur a, au contraire, recherché la dispersion de la chaleur qui a lieu lorsque les rayons passent à travers une fente.

Comme la chaleur solaire était seule propre à ce genre de recherches, il a concentré les rayons solaires réfléchis constamment dans une même direction, après les avoir fait passer par l'ouverture d'un volet de croisée dans une chambre obscure, au moyen d'une lentille cylindrique de verre disposée verticalement, et de telle façon que les rayons réunis formassent une seule ligne de chaleur intense.

On fait passer les rayons provenant de cette source linéaire de chaleur entre deux tranchants d'acier, derrière lesquels on mesure leur épanouissement. Cette mesure s'exécute au moyen d'une pile thermique de 40 couples de barreaux, bismuth et antimoine, montés en série et disposés de telle manière que leurs faces extrêmes, qui sont en saillie sur le faisceau et qu'on enduit de noir de fumée, n'aient qu'un huitième de ligne de largeur.

Au moment où la pile pénètre dans les rayons calorifiques, l'aiguille qui fait partie de son multiplicateur commence à se mouvoir. Sa déviation augmente jusqu'à ce que le thermoscope ait atteint les rayons calorifiques moyens, et diminue ensuite jusqu'à ce que la pile sorte par le côté opposé du champ calorifique, au delà de l'extrémité duquel l'aiguille revient à sa position première. Autant il est facile de saisir le moment où l'aiguille du multiplicateur abandonne sa position d'équilibre, autant on a de peine à suivre son passage de l'état de mouvement à celui du repos. Voici comment M. Knoblauch a opéré : il observait la position de la pile thermique au moment où l'aiguille du multiplicateur commençait à se mouvoir ; il promenait ensuite la pile dans toute l'étendue du spectre calorifique, puis après que l'aiguille était revenue à l'état de repos, il la ramenait en sens contraire au sein des rayons. L'aiguille du multiplicateur était déviée de nouveau, et on notait une seconde fois l'état, la position de la pile au moment où cette déviation se produisait. La distance entre les deux points indiqués dans le premier et le second

Digitized by Google

ces sert de mesure à la dispersion des rayons calorifiques aux points indiqués. Le retour de la pile s'opère au moyen d'une vis micrométrique, et sa position est mesurée sur une échelle divisée en dixièmes de ligne. Les observations s'appliquent :

1° A diverses largeurs de la fente ;

2° A diverses distances de cette fente à la source calorifique ;

3° A diverses distances derrière la fente.

1. Quand le foyer était éloigné de 0,25 pieds de la fente, la dispersion horizontale des rayons calorifiques embrassait une distance de 0,5 pieds derrière la fente.

Lorsque la fente avait	4	lignes de largeur	12 lig.	34
—	2	—	6	27
—	1	—	3	81
—	0, 5	—	2	13

Si les rayons émanant de la source de chaleur se dispersaient en suivant rigoureusement une ligne droite à travers la fente, il faudrait que leur épanouissement ou dilatation, mesuré en un point trois fois plus éloigné de la source calorifique que la fente elle-même, fût triple de ce qu'il était à la distance 1 de cette même fente. Mais cette dilatation est en réalité pour :

4 lignes de largeur de fente comme				12, 34 : 4
			ou	3, 09 : 1
2	—	—		6, 27 : 2
			ou	3, 14 : 1
1	—	—		3, 81 : 1
			ou	3, 81 : 1
0, 5	—	—		2, 13 : 0, 5
			ou	4, 26 : 1

On voit par cet exemple que la dilatation réelle observée des rayons calorifiques derrière la fente ne correspond que pour une largeur de fente de 4 lignes avec la propagation en ligne droite ; que déjà pour une fente de 2 lignes elle s'en éloigne ; que pour une fente de 1 ligne cette dilatation s'en éloigne encore plus et qu'elle est plus considérable encore pour une fente de 0, 5 lignes.

La même chose s'est présentée pour chacune des autres mesures, que

Digitized by Google

les distances aient été de 0, 5 pieds, ou de 1 p. 1 p. 5, 2 p. 5, etc., tandis que la source de chaleur était d'un autre côté aux distances de 0 p. 5; 0 p. 25; 0 p. 75 et 1 pied de la fente.

2. Lorsque la source de chaleur est éloignée de 0 p. 5 de la fente, la dispersion des rayons de chaleur doit être, à 1 pied derrière, en supposant qu'elle a lieu en ligne droite, dans le rapport de 3 à 1 avec la largeur de cette fente. Or, comme cette dispersion ne s'élève, par exemple pour une fente large de 0, 5 de ligne, qu'à 2, 15 lignes, il en résulte que son rapport avec la largeur de la fente est comme : 2, 15 : 0, 5; ou 4, 30 : 1.

Pour une distance de la source calorifique de 0 p. 75, ce rapport, à 1 p. 5 derrière la fente, devrait être aussi de 3 à 1, si la dispersion se faisait en ligne droite. Mais on trouve que l'épanouissement de la chaleur à cette distance et pour une largeur de fente de 0 ligne 5 est 2 lig. 56, et son rapport à la fente est de 2, 56 : 0, 5, ou 5, 12 : 1.

Enfin, lorsque la distance calorifique est de 1 pied, on observe à une distance de deux pieds en arrière un épanouissement de rayons calorifiques de 2 lig. 66 ; le rapport à la largeur de la fente est par conséquent 2, 66 : 0, 5 ou 5, 32 : 1, au lieu de 3 : 1.

Si on compare entre eux les nombres ainsi obtenus : 4, 26; 4, 30; 5, 12 ; 5, 32, que présente la dispersion des rayons calorifiques, on trouve que cette dispersion s'éloigne de celle qui aurait lieu en ligne droite.

Dans le cas de la ligne droite, en effet, la dispersion dans chaque expérience devrait 1° être exprimée par 3, en supposant une distance de la source calorifique de 0 p. 5 ; 2° croître sans cesse à mesure que la distance à la source devient tour à tour égale à 0, 25 ; 0, 75; 1; nouvelle preuve que la dispersion des rayons calorifiques ne se fait pas en ligne droite derrière la fente, ainsi qu'il résulte d'autres mesures prises à des distances différentes de la source de chaleur.

3. Lorsque la fente de 0 lig. 5 de large est éloignée de 1 pied du foyer, la dispersion horizontale de ses rayons dans le cas où leur propagation aurait lieu en ligne droite, à 0 p. 5 derrière la fente, c'est-à-dire à 1, 5 fois la distance de la source calorifique, devrait s'élever à 0 lig. 75; elle est en réalité de 1 lig. 84: différence: 1 lig. 09, à 6 p. derrière la fente, c'est-à-dire à 7 fois la distance de la source

Digitized by Google

calorifique, elle devrait être 3 lig. 5. Elle est en réalité de 4 lig. 91 ; différence: 1 lig. 41.

La différence absolue entre la dispersion réelle et celle calculée sur la propagation en ligne droite des rayons calorifiques est donc, pour de plus grandes distances de la fente, plus considérable que pour de faibles distances.

M. Knoblauch a fait un grand nombre d'autres expériences que nous n'énumérerons pas, mais qui conduisent au même résultat ; et de ce grand ensemble d'observations il résulte que la dispersion réelle des rayons calorifiques s'éloigne d'autant plus de celle calculée en partant du principe de la propagation en ligne droite, que :

1° La fente à travers laquelle passent les rayons calorifiques est plus étroite ;

2° Que la source de chaleur est plus éloignée de la fente ;

3° Enfin, que les mesures ont lieu à une plus grande distance de cette même fente.

L'inflexion ou diffraction des rayons calorifiques est donc ainsi démontrée d'une manière indubitable, et reconnue simultanément dans sa dépendance régulière, tant de la largeur de la fente que de la distance à la source de la chaleur.

Sur l'interférence des rayons calorifiques, par A. SEEBECK.

MM. Fizeau et Foucault ont observé, au moyen d'un thermomètre à alcool, une petite différence dans la chaleur des rayons solaires dans quelques-uns des cas où l'on devait croire qu'il y a interférence. M. Seebeck a fait, de son côté, l'observation suivante.

Au moyen d'un miroir, il dirigeait la lumière solaire dans une chambre obscure, en la faisant passer par une fente large d'un pouce et demi. A une distance de dix pieds derrière la fente, la lumière était reçue sur une lunette, devant l'objectif de laquelle on avait placé un réseau très fin (100 fentes sur une lig. par.). La lumière, après avoir passé par la lunette, peut alors être reçue sur un mur, et l'on obtient ainsi les spectres des réseaux sous forme de phénomène objectif, et grossis autant que l'on veut. On voit au milieu un champ blanc exactement limité, des deux côtés duquel se trouve un espace obscur, puis vient le premier spectre, etc., etc. Ces diffé-

Digitized by Google

rentes portions furent ensuite reçues sur la boule noire d'un photomètre de Leslie. M. Seebeck observa l'état de l'instrument dans cinq positions différentes, ainsi qu'il suit : 1° dans le champ blanc du milieu ; 2° et 3° dans l'espace obscur à droite et à gauche du milieu ; enfin 4° et 5° dans le premier spectre à droite et à gauche.

Le champ blanc produisait une élévation de température très-sensible, et le premier spectre à peu près la moitié de celui produit par le champ blanc ; mais l'espace intermédiaire obscur produisait sensiblement une diminution de chaleur. Les différences observées étaient, en général, très-régulières, de telle sorte que l'on ne saurait plus douter de l'existence d'une interférence des rayons calorifiques.

Au lieu de se servir d'un miroir et d'une fente, on peut faire entrer la lumière solaire dans la lunette immédiatement par le réseau qui se trouve devant l'objectif.

RAYONS PHOTOGÉNIQUES.

Nous aurions voulu refaire avant tout l'histoire de la photographie et reproduire la longue dissertation insérée dans la *Revue scientifique et industrielle* de M. Quesneville, tome XV, 2e série, mais nous avons déjà dépassé le nombre de feuilles dont ce quatrième volume devait se composer : nous nous bornerons donc à un résumé très-rapide.

Ce fut en 1818 que la pensée investigatrice de M. Niepce s'arrêta pour la première fois à l'idée de fixer sur des planches métalliques la représentation des objets qui leur serait transmise par la lumière.

En 1822, il obtenait déjà sur l'étain poli et sur verre des copies fidèles de gravures à l'aide d'un vernis bitumineux : un portrait du pape Pie VII, exécuté sur verre, frappa d'étonnement toutes les personnes qui eurent occasion de le voir.

En 1824, il parvint définitivement à fixer sur des écrans préparés les images de la chambre noire.

A la même époque, il appliquait l'art de la gravure aux objets dont il obtenait la reproduction par le seul effet de la lumière, et montra ses premiers essais en ce genre à un graveur alors célèbre, M. Lemaire.

Digitized by Google

Il écrivait le 4 juin 1827 : La campagne est dans tout l'éclat de sa parure ; je vais reprendre mes recherches, et me livrer exclusivement à la copie des points de vue d'après nature.

M. Niepce avait été mis en relation par M. Vincent Chevalier avec M. Daguerre, qui, dans une lettre écrite vers la fin de janvier 1820, lui dit pour la première fois que, lui aussi, depuis longtemps, cherchait l'impossible.

En 1827, M. Niepce fit à Kiew la connaissance de M. Bauer, il lui apprit qu'il avait fait l'importante et intéressante découverte de fixer d'une manière permanente l'image de tout objet, par l'action spontanée de la lumière, et lui montra de nombreux spécimens, premiers résultats de ses longues recherches, avec un mémoire daté du 8 décembre 1827.

Le 14 novembre 1829, M. Niepce, séduit par l'assurance que lui donnait M. Daguerre d'un grand perfectionnement apporté à la chambre noire, passa avec celui-ci un premier acte d'association sous la raison Niepce-Daguerre, pour amener le perfectionnement de la découverte inventée par M. Niepce : *Fixer par un moyen nouveau, sans avoir recours à un dessinateur, les vues qu'offre la nature. Le nouveau moyen consiste dans la reproduction spontanée des images reçues dans la chambre noire : de nombreux essais constatent cette découverte.* M. Daguerre a signé tout cela à Châlons-sur-Saône, le 14 décembre 1829 ; il devait confier à son tour, sous le sceau du secret, *le principe sur lequel repose le perfectionnement qu'il a apporté à la chambre noire.*

Dans son mémorable récit, M. Arago à dit : *qu'après une multitude d'essais infructueux, M. Niepce avait, lui aussi, à peu près renoncé à reproduire les images de la chambre obscure.* Il serait absurde de penser même à faire un crime à l'illustre secrétaire perpétuel de cette assertion solennellement démentie par les faits. Son âme noble et généreuse ne lui a pas laissé soupçonner qu'on pouvait le tromper : et il s'est fait le narrateur trop fidèle des faits qui lui ont été fournis, faits dénaturés par M. Daguerre. Osons seulement faire un vœu : c'est que M. Arago profite de l'occasion qui lui sera certainement offerte un jour pour reconnaître que l'on avait attenté à sa bonne foi.

M. Niepce mourut le 5 juillet 1833 : son fils le remplaça dans

Digitized by Google

l'association, qui prit la raison nouvelle Daguerre et Isidore Niepce. Le nom de Niepce était fatalement et irrévocablement refoulé au second rang.

En 1837, M. Daguerre montra à M. Isidore Niepce quelques épreuves obtenues par l'emploi de l'iode et du mercure, mais en exigeant un plus cruel sacrifice, en lui imposant la signature d'un traité définitif qui éliminait jusqu'au nom de M. Niepce, son immortel père, jusqu'au souvenir du premier inventeur, « M. Daguerre consent à abandonner à la société... le nouveau procédé dont il est l'inventeur, qu'il a perfectionné et qui devait être publié ainsi qu'il suit : Le procédé inventé par M. Joseph-Nicéphore Niepce, et perfectionné par M. Louis-Jacques-Mandé Daguerre, portera le nom seul de Daguerre... »

Le monde entier a donc cru que M. Daguerre avait le premier reproduit spontanément, par l'action de la lumière, avec les dégradations de teinte du noir au blanc, les images reçues dans la chambre noire.

La vérité est que l'idée de cette découverte appartient à M. Wedgewood, mais que Niepce, le premier, l'a complétement réalisée.

Le procédé de M. Daguerre n'est qu'un brillant perfectionnement de cette admirable découverte. Sa gloire, et certes elle est assez éclatante pour qu'elle le satisfasse pleinement, consiste dans l'emploi combiné de l'iode et du mercure.

Pour compléter la longue dissertation sur la photographie, qui remplit un si grand nombre de pages de notre second volume, nous avons surtout trois belles séries de recherches à analyser : 1° l'étude heureuse des principaux phénomènes de la photographie, faite par M. Claudet, l'un des plus habiles photographes; 2° le curieux mémoire de M. Edmond Becquerel, sur les images photochromatiques; 3° les recherches tout à fait originales de M. Niepce de Saint-Victor sur l'action merveilleuse de certaines vapeurs et la photographie sur verre. Par un acte bienheureux de justice distributive et réparatrice, la divine Providence a voulu que le nom outragé et méconnu de l'excellent Niepce reparût avec éclat dans l'histoire des progrès de la photographie.

Digitized by Google

Recherches sur la théorie des principaux phénomènes de la photographie, dans le procédé de Daguerre, par M. CLAUDET.

M. Claudet s'est proposé de résoudre les questions suivantes :

1. Quelle est l'action de la lumière sur la couche sensible ?

2. Comment la vapeur de mercure produit-elle l'image daguerrienne ?

3. Quels sont ceux des rayons lumineux qui communiquent à la surface l'affinité pour le mercure ?

4. Quelle est la cause de la différence observée dans les lentilles achromatiques entre le foyer visuel et le foyer photogénique ? Pourquoi cette différence varie-t-elle constamment ?

5. Quels sont les vrais moyens de mesurer l'intensité des rayons photogéniques et de trouver le véritable foyer auquel ils produisent l'image ?

En 1849, M. Claudet annonça que la décomposition de la surface chimique sur la plaque daguerrienne, par l'action de certains rayons lumineux, produisait sur cette surface un précipité blanc, insoluble dans l'hyposulfite de soude, et qui, examiné au microscope, avait l'apparence d'une multitude de cristaux réfléchissant la lumière : ce précipité ou dépôt vu à l'œil nu est la cause de l'image daguerrienne positive. M. Claudet démontre ce fait inattendu en obtenant, par la seule action de la lumière et sans miroir, des images ayant la même apparence que celles développées sous l'action des vapeurs de mercure. Mais ce mode de production est beaucoup trop lent, et le grand mérite du beau procédé de M. Daguerre consiste précisément dans l'adjonction de la vapeur de mercure. Cette vapeur, dans son contact avec la plaque, donne aussi naissance à un précipité de poudre blanche qui vu, au microscope, apparaît encore formé de cristaux réfléchissant la lumière.

Il est très-probable que la lumière exerce une double action sur l'iodure d'argent, combiné ou non avec le chlore ou le brome. Par l'une, l'iodure est décomposé, et l'argent devenu libre, se précipite sous forme de poudre blanche ou petits cristaux ; par la seconde action, qui s'exerce bien longtemps avant la première, les portions frappées par la première acquièrent une certaine affinité pour la vapeur de mercure. L'argent se précipite après une action de trois secondes,

Digitized by Google

tandis qu'il suffit d'une action d'un millième de seconde, ou d'une action trois mille fois plus courte, pour communiquer à la surface l'affinité pour le mercure. Il est naturel d'admettre que les deux actions sont essentiellement différentes et que la seconde est la cause propre de la production de l'image daguerrienne.

En 1847, M. Claudet démontra que les rayons rouge, orangé et jaune détruisent l'effet produit par la lumière blanche, et que la couche sensible reprend son état naturel et sa sensibilité primitive après avoir été soumise à l'action de ces rayons. On devait conclure de ce fait que la lumière blanche n'avait pas décomposé la couche sensible, et que les rayons rouge, orangé, jaune, annulaient simplement l'affinité pour le mercure communiquée par la lumière blanche.

Si la couche sensible est préparée avec l'iode seul, sans brome, les rayons rouge, orangé, jaune, au lieu de détruire l'action produite par la lumière blanche, augmentent et le précipité blanc et l'affinité pour le mercure, ainsi que l'ont démontré MM. Becquerel et Gaudin. Ce fût même M. Gaudin qui arriva le premier à produire des images daguerriennes sans mercure et par la seule action des rayons continuateurs rouge, orangé, jaune, sur l'iodure d'argent. Il est cependant un composé double d'iode beaucoup plus sensible que l'iodure ordinaire et sur lequel ces mêmes rayons rouge, orangé, jaune, cessent d'être continuateurs pour exercer une action destructive de l'effet produit par la lumière blanche ou les rayons chimiques plus réfringents.

L'iode sans brome est cent fois plus sensible que le bromure d'iode à l'action de la lumière qui produit le précipité blanc d'argent, tandis qu'il est cent fois moins sensible à l'action qui donne l'affinité pour le mercure. On doit admettre 1° que tous les rayons lumineux sont aptes à produire l'action de décomposition dans un temps plus ou moins long, tandis que quelques-uns de ces rayons détruisent l'affinité pour le mercure que les autres ont produite ; 2° que cette action de production ou de destruction dépend de la nature de la couche sensible; 3° que l'action de la lumière blanche sera plus ou moins prompte, suivant que des circonstances particulières changeront le rapport des rayons antagonistes : ce qui arrivera, par exemple, quand la présence de vapeurs dans l'atmosphère déterminera l'absorption des rayons plus réfrangibles, et fera dominer la lumière jaune.

Digitized by Google

M. Claudet a couvert la moitié d'une gravure avec un verre jaune, et il a placé la gravure devant l'objectif d'une chambre obscure. Pendant le temps suffisant à la production de l'image de la portion non recouverte, la portion placée sous le verre jaune n'avait exercé aucun effet. Si maintenant on recouvre la seconde portion avec un verre bleu, son image se formera bien plus vite, et la portion cachée par le verre jaune sera comparativement beaucoup plus inactive encore.

On peut ainsi réaliser une chambre éclairée par une lumière jaune éblouissante pour l'œil, mais où l'on ne puisse obtenir aucun effet photographique; et une chambre éclairée par une lumière bleue très-sombre pour l'œil, où les effets photographiques s'obtiennent avec la plus grande facilité. Ces conditions se trouvent quelquefois réalisées naturellement dans l'atmosphère, sans que l'œil soit apte à discerner pourquoi l'on obtient ou l'on n'obtient pas de bonnes images daguerriennes.

Il avait décrit dans le *Philosophical Magazine*, sous le nom de photographomètre, un instrument qui mettait en évidence ces différences essentielles. La lumière frappait la surface daguerrienne pendant le passage d'une plaque métallique munie de sept ouvertures placées sur une même ligne horizontale et dont les surfaces, en progression géométrique, sont exprimées par les nombres 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64. Cette même surface daguerrienne était couverte d'une autre plaque métallique munie de quatre séries de sept trous, et l'effet de la lumière à travers chacun des sept trous était proportionnelle à l'ouverture de la plaque mobile. Chacune des quatre séries de trous produisait le même nombre de taches blanches, et le nombre des taches donnait la mesure de l'intensité photographique de la lumière. Au moment de l'expérience, on employait quatre séries de trous pour éprouver à la fois quatre préparations différentes sur une même plaque, ou pour essayer la lumière sur une même plaque à quatre instants différents. Plus tard, M. Claudet a perfectionné cet appareil de telle sorte qu'il peut pousser la proportion géométrique avec une seule plaque jusqu'à 512, et jusqu'à 8192, en employant une seconde plaque; il s'est servi pour cet effet de lames glissantes qu'il ouvre ou ferme tour à tour. Après avoir opéré d'abord avec tous les glissoirs ouverts, il en ferme un et opère de nouveau, puis il en ferme deux et opère deux fois, et ainsi de suite

Digitized by Google

en doublant le nombre des opérations pour chaque nouvelle plaque glissante que l'on ouvre.

Par cette méthode, M. Claudet est arrivé à constater le degré d'intensité de lumière nécessaire à produire la solarisation. Cette intensité est environ cinq cent douze fois plus grande que celle qui est nécessaire à la création de l'affinité pour le mercure. M. Claudet a reconnu aussi ce qu'il fallait d'intensité lumineuse pour amener la formation du précipité blanc par la décomposition de l'iodure ou du bromo-iodure d'argent. La décomposition de l'iodure est cent fois plus prompte que celle du bromo-iodure, et la décomposition du bromo-iodure se fait dans un temps trois mille fois plus long que l'action nécessaire à la production de l'affinité pour le mercure.

Avec son photographomètre, M. Claudet a mis aussi en évidence les effets différents produits sur les plaques daguerriennes par les divers rayons du spectre. Il a reconnu qu'avant que la lumière ait décomposé la couche sensible et déterminé le précipité blanc, les rayons rouge, orangé et jaune détruisent l'affinité pour le mercure, et la continuent quand la décomposition a recommencé.

Dans le cours de ses recherches, M. Claudet a observé une particularité curieuse et qui l'a grandement étonné. Les espaces recouverts qui entourent les portions de la plaque placées au-dessous des ouvertures rondes, alors que ces portions n'avaient pas été assez impressionnées pour déterminer la fixation des vapeurs de mercure, et restaient, par conséquent noires, étaient abondamment recouverts de mercure. M. Claudet pensa dabord que cette action inattendue était due aux rayons invisibles de Moser, mais il crut reconnaître plus tard qu'elle avait pour cause le contact métallique du cuivre et de l'argent, et il l'attribua à une sorte de galvanisation ou d'électrisation qui se produisait dans des conditions données de l'atmosphère, ce qui l'amena à conjecturer que l'état électrique de l'air ambiant et de la plaque entrait pour quelque chose dans la production des phénomènes daguerriens. Ne serait-ce pas là un moyen rationnel d'expliquer pourquoi certains rayons déterminent l'affinité pour le mercure, tandis que d'autres la détruisent, et cela dans un temps tellement court, que la lumière n'a pas encore produit son effet chimique? On n'a pas encore assez étudié jusqu'ici l'influence que l'état

Digitized by Google

électrique des plaques et de l'air ambiant pourrait produire sur la production des images photographiques.

Dès la naissance de la photographie on s'aperçut que les rayons efficaces, c'est-à-dire, les rayons les plus réfrangibles, avaient un foyer beaucoup plus court que l'ensemble des rayons qui constituent la lumière blanche; et quand on avait bien mis au foyer en rendant très-distincte l'image formée sur la surface du verre dépolie, on ne reproduisait sur la plaque daguerrienne qu'une image imparfaite. Ce qu'il y a de plus extraordinaire, c'est que M. Claudet s'est assuré, à sa grande surprise, que dans plusieurs circonstances le foyer chimique était plus long que le foyer visuel. Plus tard M. Lerebours est parvenu à obtenir à volonté que le foyer chimique fût plus court ou plus long que le foyer visuel.

M. Claudet a reconnu aussi que la distance entre les deux foyers, le foyer chimique et le foyer visuel, variait incessamment sans qu'il ait pu assigner la cause de cette variation mystérieuse; il en a conclu naturellement qu'il était impossible de construire un objectif achromatique dans lequel le foyer chimique coïnciderait constamment avec le foyer visuel, et qu'avant d'opérer il fallait toujours, pour être sûr d'obtenir des images très-nettes, déterminer à l'avance avec le photographomètre la distance actuelle entre les deux foyers.

M. G. Knight, de Foster-Lane, a construit plus récemment un appareil ingénieux et simple, destiné à mesurer la distance des deux foyers et à placer rigoureusement la plaque daguerrienne au foyer des rayons photogéniques. Cet appareil consiste dans un châssis à deux rainures, l'une verticale dans laquel il place le verre dépoli, l'autre formant un angle avec la première et qui doit recevoir la plaque daguerrienne. Les plans des deux rainures se coupent suivant leur ligne moyenne. Après que l'on a mis au foyer sur le verre dépoli, on le retire et l'on fixe la plaque dans la rainure inclinée. On place ensuite devant la chambre obscure une feuille de journal d'une impression large. L'image va se former sur la plaque inclinée, et il est évident qu'en raison de l'inclinaison, les différents points de la plaque occupent un foyer différent. Le centre de la plaque coïncide avec le foyer visuel, et le foyer photogénique sera situé à une distance plus ou moins grande du centre, en haut ou en bas, suivant que

Digitized by Google

le foyer photogénique sera plus court ou plus long que le foyer visuel. La rainure est munie d'une échelle divisée, ayant son zéro au centre. Quand l'image est formée sur la plaque daguerrienne, on peut, en appliquant sur elle une seconde échelle divisée semblable à la première, déterminer à quelle division au-dessus ou au-dessous de zéro correspond la portion la mieux définie. On retire alors de la chambre obscure le châssis incliné qui a servi à l'expérience; on place, comme d'ordinaire, le verre dépoli au foyer; et il suffit ensuite de faire mouvoir l'objectif au moyen de la crémaillère, de l'avancer ou de le reculer de la quantité correspondante à celle des divisions de l'échelle qui indique la déviation du vrai foyer photogénique. A cet effet, on a tracé un système de divisions identiques sur le tube de l'objectif. M. Claudet recommande le procédé de M. Knight comme étant d'une application facile et sûre, et termine l'opuscule que nous analysons en appelant de nouveau l'attention des savants sur le fait singulier des perpétuelles variations de la distance entre les foyers visuel et photogénique.

Rapport sur un mémoire de M. EDMOND BECQUEREL, *ayant pour titre : De l'Image photochromatique du spectre solaire*, par M. REGNAULT. *Extrait.*

Les divers rayons colorés composant la lumière blanche exercent sur les composés d'argent des actions qui sont loin d'être proportionnelles aux impressions qu'ils produisent sur nos organes; il en résulte que les images photographiques des objets diversement colorés, prises simultanément sur une même feuille, ne représentent plus les intensités relatives que nous leur trouvons à la vue directe. Il y a plus : ces rayons de réfrangibilités diverses exercent sur les substances sensibles non-seulement des actions d'intensité très-différente, mais encore ils produisent sur la même substance des altérations spéciales qui se manifestent par diverses colorations.

M. Herschel reconnut le premier que, lorsqu'une feuille de papier sensible est exposée à l'action d'un spectre solaire fortement concentré, elle reçoit rapidement l'impression de ce spectre, et cette impression est colorée; ses nuances rappellent plus ou moins parfai-

Digitized by Google

teinte, celles que les mêmes rayons produisent sur notre rétine ; ainsi :

Les rayons rouges produisent un rouge briqueté ;

Les rayons verts produisent une couleur vert-sombre et métallique ;

Les rayons jaunes ne donnent pas de coloration spéciale ;

Les rayons bleus produisent une nuance bleuâtre sombre qui passe promptement au noir.

On doit à M. Hunt, une série d'expériences publiées en 1840, sur les diverses colorations que le papier préparé au chlorure d'argent prend sous les verres colorés. Les colorations qu'il indique sont très-variées, mais elles diffèrent ordinairement beaucoup des nuances que nous reconnaissons à la lumière qui traverse les verres colorés. Cette circonstance ne doit pas surprendre, car nous savons que la plupart de ces verres laissent passer des rayons de réfrangibilités très-diverses, et dont les actions spéciales sur les matières impressionnables sont loin d'être proportionnelles à leurs quantités.

Telles étaient nos connaissances sur l'action spéciale que les divers rayons simples exercent sur une même substance sensible, lorsque M. Edmond Becquerel entreprit de soumettre ce sujet à une nouvelle étude. Il se proposa de chercher une préparation sensible, qui, sous l'influence d'un spectre solaire convenablement épuré, prit en chaque point des colorations identiques à celles que les rayons lumineux qui y tombent produisent sur nos organes, de manière à obtenir une image du spectre, aussi semblable que possible, à celle que nous percevons directement par nos yeux.

Le corps chimiquement impressionnable qui jouit de la faculté de prendre, à peu près dans le même temps, la teinte des rayons de toute nature qui le frappent, est un chlorure d'argent que l'on prépare en attaquant par le chlore, dans une certaine condition, une lame d'argent bien polie.

Le mode de préparation auquel il s'est arrêté, est le suivant : la lame de plaqué, préalablement polie au rouge d'Angleterre et au tripoli, est fixée sur un petit support formé par deux fils de cuivre, en forme de fourchette, qui la maintiennent à l'aide de petits crochets qui la terminent. Les deux fils se réunissent à leur partie supérieure, qui est mise en communication avec le pôle positif d'une pile com-

Digitized by Google

posée de deux éléments de Bunsen, moyennement chargés. On plonge la lame dans un grand vase renfermant de huit à dix litres d'acide chlorhydrique affaibli (dans les proportions de 125 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ordinaire pour un litre d'eau). On plonge dans le même vase une tige, ou une lamelle étroite de platine, qui communique avec le pôle négatif, et l'on promène cette tige rapidement à une certaine distance de la lame et parallèlement à sa surface. La plaque d'argent prend successivement les diverses colorations des lames minces, que l'on peut suivre aisément quand on opère dans une chambre faiblement éclairée. Elle commence par se colorer en gris, puis elle prend des teintes jaunâtres et violacées; elle passe bientôt au bleuâtre et au verdâtre; elle devient ensuite d'un bleu gris, puis rose, puis violette, enfin elle reprend une teinte bleue.

On arrête l'opération avant l'apparition de la seconde teinte bleue, lorsque la plaque a pris une teinte lilas : on la retire alors rapidement du bain, on la plonge dans de l'eau distillée, et on la sèche en l'inclinant légèrement, la chauffant doucement avec une lampe à alcool pendant que l'on souffle sur la surface. La durée de l'immersion de la plaque n'est que de une ou deux minutes. Si l'immersion se prolongeait davantage, sa couleur se foncerait de plus en plus, et elle finirait par devenir noire; la plaque devient alors de moins en moins sensible aux radiations lumineuses.

Les plaques ainsi préparées se conservent indéfiniment, sans altération, à l'abri de la lumière. Avant de s'en servir, il est bon de les frotter avec un tampon de coton; on rend ainsi leur surface plus brillante, et les couleurs qu'elles forment sous l'influence des divers rayons du spectre deviennent plus vives.

Les plaques préparées comme nous venons de le dire, prennent, à la lumière diffuse, une teinte grise. Si l'on y projette un spectre solaire très-pur et fortement concentré, on reconnaît que la partie qui s'impressionne d'abord est celle sur laquelle tombent les rayons orangés et rouges; il s'y développe une coloration rouge qui augmente rapidement d'intensité, mais elle se fonce en même temps et finit par devenir noire.

L'action photogénique du spectre se prolonge notablement au delà de la raie A de *Fraunhofer*, et produit une teinte amaranthe qui semble annoncer un passage du rouge au violet. Ainsi la substance

Digitized by Google

sensible est impressionable par des rayons moins réfrangibles que les rayons rouges extrêmes, perceptibles pour nos organes.

Le vert prismatique se marque en vert sur la plaque; le bleu et le violet y impriment leur couleur et produisent des colorations qui sont très-belles et très-intenses à un certain moment de l'action. Le jaune et l'orangé viennent difficilement: on peut cependant reconnaître ces nuances sur la plaque après les premiers moments de l'action. Il se manifeste également une action au delà du violet. On sait que le violet visible s'arrête à une petite distance de la raie H de Fraunhofer, et qu'il se termine par une bande d'un gris lavande très-faible, que l'on n'observe facilement qu'en interceptant, par un écran, la partie moins réfractée et beaucoup plus brillante du spectre. L'impression photographique suit cette bande, et s'étend même beaucoup au delà; elle se manifeste par une teinte grisâtre, qui devient déjà très-sensible après dix ou quinze minutes d'exposition et se fonce ensuite de plus en plus. Cette portion du spectre photogénique se manifeste très-clairement par l'insufflation de l'haleine; la vapeur d'eau s'y condense, de préférence, sous la forme de petits globules liquides, et l'on parvient ainsi à la rendre très-évidente même sur les plaques qui ne sont pas restées exposées à la radiation assez longtemps pour que la coloration s'y soit développée.

L'image que l'on obtient ainsi sur la plaque rappelle bien les couleurs prismatiques par ses nuances, mais celles-ci sont en général sombres et deviennent de plus en plus foncées à mesure que l'exposition à l'irradiation se prolonge; c'est dans les premiers moments de l'action que les nuances sont les plus franches.

Si l'on chauffe la plaque d'argent préparée avant de l'exposer à l'action de la lumière, elle acquiert des propriétés nouvelles. Elle éprouve des changements très-notables dans sa couleur propre: celle-ci devient de plus en plus rose, et le chlorure d'argent finit par fondre à sa surface.

Avant le recuit, la substance recevait par la lumière blanche une espèce d'image négative grise; car celle-ci se détachait, pour ainsi dire, en noir, sur le fond plus clair de la plaque; après le recuit, la lumière blanche imprime sur la plaque une image positive, qui se détache en clair sur le fond et présente quelquefois la blancheur du

Digitized by Google

papier. Les rayons du spectre s'y peignent avec leur couleur propre, et les nuances ne sont plus sombres comme celles qui se développaient sur la lame non recuite; elles sont vives et brillantes, et ne noircissent plus aussi rapidement quand on prolonge l'action.

Au reste, la modification que subit la matière sensible est différente selon la température à laquelle le recuit a lieu, et selon le temps pendant lequel la plaque est exposée à la chaleur. Si la lame est recuite dans une étuve à 100 degrés, elle prend au bout de quelques minutes une teinte bois légèrement rougeâtre; c'est dans cet état que M. Edmond Becquerel la regarde comme la plus convenable pour prendre toutes les colorations du spectre. Le spectre solaire y imprime, en effet, toutes ses couleurs. Le jaune et le vert deviennent très-nets, le bleu et le violet prennent des nuances vives et bien franches; l'orangé et le rouge acquièrent une grande intensité, mais leurs nuances sont plus violettes que celles du spectre. La portion du spectre photogénique en deçà du rouge extrême, qui se manifeste par une bande amaranthe foncée sur la plaque non recuite, est à peine sensible sur la plaque recuite. Mais les rayons plus réfrangibles que le violet extrême continuent à imprimer leur action, et développent une bande grise qui se fonce de plus en plus à mesure que l'action se prolonge. Ainsi, le spectre photographique obtenu sur la plaque chlorurée et recuite présente une ressemblance complète avec le spectre visible, dans toute la portion visible de celui-ci; mais le spectre photographique se continue au delà du violet par une bande gris-noirâtre qui s'y est développée sous l'influence des rayons plus réfrangibles que les rayons exerçant une impression sur nos yeux.

La lumière blanche, qui se compose de la réunion de tous ces rayons de réfrangibilités diverses, produit sur la plaque sensible un effet complexe.

M. Becquerel a trouvé un moyen très-remarquable d'arrêter complétement toute la partie du spectre photogénique plus réfrangible que le violet extrême, sans diminuer sensiblement l'intensité des rayons visibles : il consiste à placer sur le trajet du rayon solaire un écran mince d'une dissolution très-faible de sulfate acide de quinine.

Digitized by Google

La lumière blanche qui a traversé cet écran imprime sur la plaque chlorurée et recuite une image blanche dont la blancheur est quelquefois comparable à celle du papier.

Le temps que doit durer l'exposition de la plaque au spectre solaire varie nécessairement avec l'intensité de ce spectre. Si le spectre est très-concentré et peu étalé par la réfraction, on obtient en quelques minutes une belle impression colorée. Avec un spectre très-dilaté et produit par un faisceau qui a traversé une fente très-étroite, il faut prolonger l'exposition une ou deux heures; mais l'image présente dans ce dernier cas les principales raies de *Fraunhofer*, qui s'y dessinent en noir, comme dans le spectre vu directement.

La position du maximum d'action dans le spectre varie avec la préparation de la plaque : lorsque celle-ci a été fortement recuite, le maximum se trouve dans le jaune; sur la plaque chlorurée, mais non recuite, le rouge vient aussi vite que le jaune.

M. Edmond Becquerel obtient sa dissolution de sulfate de quinine en dissolvant deux ou trois grammes de sulfate de quinine dans un litre d'eau acidulée par un peu d'acide sulfurique. Il suffit d'un écran de deux centimètres d'épaisseur pour arrêter complétement les rayons plus réfrangibles que les rayons violets. Comme ces rayons exercent peu d'action sur la rétine, leur suppression n'empêche pas la lumière transmise de paraître blanche. La dissolution paraît seulement légèrement jaunâtre à la lumière transmise, quand on l'observe sur une grande épaisseur; et elle réfléchit, surtout sous l'incidence de la réflexion totale, une belle couleur indigo.

M. Edmond Becquerel a pris sur ses plaques sensibles les images des spectres produits par la lumière solaire qui a traversé des milieux transparents colorés; il a trouvé constamment que la matière sensible restait inaltérable dans toutes les parties du spectre visible occupées par des bandes obscures.

L'auteur a reproduit également, par décalquage, des estampes coloriées : les images qu'il a obtenues rappellent les couleurs de l'estampe, mais elles sont comparativement moins vives que celles du spectre solaire.

Les images photochromatiques de M. Becquerel se conservent très-longtemps dans l'obscurité, mais elles s'altèrent sous l'influence pro-

Digitized by Google

longée de la lumière diffuse. L'auteur à cherché vainement à fix r ces images, en enlevant, par des dissolvants, la matière impressionnable. Les images se sont constamment décolorées, et ont été remplacées par d'autres plus ou moins analogues aux images négatives que l'on obtient sur les papiers sensibles. Les épreuves exposées aux vapeurs mercurielles produisent des images non colorées semblables aux images daguerriennes ordinaires.

En résumé, le mémoire de M. Edmond Becquerel renferme la description d'un nouveau procédé de préparation des plaques daguerriennes, qui permet d'obtenir des images dont les couleurs rappellent celles des objets, et produit un plus grand nombre de couleurs du spectre que les préparations photographiques connues jusqu'ici. Il contient, en outre, un grand nombre d'observations intéressantes sur l'action que les rayons simples du spectre exercent sur les diverses matières sensibles. Nous avons l'honneur de proposer à l'Académie de donner son approbation au travail de M. Edm. Becquerel, et d'ordonner qu'il soit inséré dans le *Recueil des Savants étrangers.*

Sur des propriétés particulières de l'iode, du phosphore, de l'acide azotique, etc., par M. NIEPCE DE ST-VICTOR.

PREMIÈRE PARTIE. — *De l'iode et de ses effets.* — « Je crois être le premier qui ait découvert dans l'iode une propriété que l'on était loin d'y soupçonner, la propriété de se porter sur les noirs d'une gravure, d'une écriture, etc., à l'exclusion des blancs. Ainsi, une gravure est soumise à la vapeur d'iode pendant cinq minutes environ à une température de 15 à 20 degrés; on emploie 15 grammes d'iode par décimètre carré (il faudrait plus de temps si la température était moins élevée); on applique ensuite cette gravure sur du papier collé à l'amidon, en ayant soin préalablement de le mouiller avec une eau acidulée à 1 degré d'acide sulfurique. C'est la seule substance qui, jusqu'à présent, donne un peu de solidité aux dessins : malgré cela, ils finissent par disparaître à l'air et à la lumière; mais en les collant sous une feuille de verre, on peut les conserver très-longtemps. Les épreuves, après avoir été pressées avec un tampon de

Digitized by Google

linge, présentent un dessin d'une admirable pureté ; mais, en séchant, il devient vaporeux. On peut tirer plusieurs exemplaires de la même gravure sans lui faire subir de nouvelles préparations, et les dernières épreuves sont toujours les plus nettes.

» J'ai trouvé le moyen de reproduire par le même procédé toute espèce de dessin, soit que celui-ci ait été fait à l'encre grasse ou aqueuse (pourvu que celle-ci ne contienne pas de gomme), soit qu'il l'ait été à l'encre de Chine ou à la mine de plomb; en un mot, tout ce qui a trait peut être reproduit, seulement il faut faire subir à ces dessins les préparations suivantes : on les plonge pendant quelques minutes dans une eau légèrement ammoniacale, puis on les passe dans une eau acidulée avec les acides sulfurique, azotique et chlorhydrique, et on les laisse sécher : c'est alors qu'on les expose à la vapeur d'iode, et qu'on répète le procédé décrit plus haut. Par ce moyen, on parvient à décalquer des dessins qui jusqu'ici n'auraient pu l'être autrement, lors même qu'ils seraient dans la pâte du papier. On peut aussi ne reproduire qu'une des deux images qui se trouvent sur le *recto* et le *verso* d'une même feuille de papier.

» J'ai indiqué la nécessité que le papier qui doit recevoir le dessin d'une gravure ait été collé avec de l'amidon, parce qu'en effet la matière colorée du dessin est l'iodure d'amidon ; d'après cela, j'ai eu l'idée d'enduire d'empois la surface de plaques de porcelaine, de verre opale, d'albâtre et d'ivoire, et d'opérer ensuite comme j'opérais sur le papier : le résultat, comme je l'avais prévu, a été d'une supériorité incontestable, relativement aux dessins produits sur simple papier collé à l'amidon.

» Lorsque le dessin résultant de cette opération est parfaitement sec, on y passe un vernis à tableau ; et si on peut le mettre sous verre, il acquiert une telle fixité, que j'en ai conservé depuis plus de huit mois sans aucun changement notable.

» Lorsque je veux reproduire une gravure, je me sers de préférence de verre opale, derrière lequel je colle une feuille de papier pour le rendre moins transparent : on obtient sur cette plaque une épreuve renversée ; mais en opérant sur une feuille de verre ordinaire que l'on retourne ensuite, l'épreuve se trouve alors redressée, et il suffit de placer une feuille de papier derrière, pour faire ressortir le dessin. On peut aussi le conserver comme vitrail ; mais, dans ce

Digitized by Google

cas, il faut placer le dessin entre deux feuilles de verre, afin de le préserver de tout contact et en assurer la solidité.

» Cette dernière application sera très-avantageuse pour la fantasmagorie.

» On peut obtenir des dessins de plusieurs couleurs, telles que du bleu, du violet et du rouge, suivant que l'amidon est plus ou moins cuit ; dans le premier cas, il porte au rouge.

» On obtient du bistre plus ou moins foncé en soumettant une épreuve à la vapeur d'ammoniaque ; mais elle reprendrait sa couleur primitive, si on la vernissait après cette opération. Conséquemment, on ne peut donc vernir une épreuve ainsi modifiée par l'ammoniaque.

» Je parlerai maintenant des épreuves que l'on peut obtenir sur différents métaux. Ainsi, en exposant une gravure à la vapeur d'iode (pendant quelque minutes seulement, afin d'éviter que les blancs s'en imprègnent), l'appliquant ensuite (sans la mouiller) sur une plaque d'argent, la mettant sous presse, on a, au bout de cinq à six minutes, une reproduction des plus fidèles de la gravure ; en exposant ensuite cette plaque à la vapeur du mercure, on obtient une image semblable à l'épreuve daguerrienne.

» Sur le cuivre, on opère comme il vient d'être dit pour l'argent, et l'on soumet ensuite cette plaque à la vapeur de l'ammoniaque liquide, que l'on chauffe un peu afin que le dégagement soit plus fort. Mais il faut avoir l'attention de n'exposer la plaque de cuivre que lorsque les premières vapeurs se sont échappées de la boîte : car, pour cette opération, il faut une boîte dans le genre de celle dont on se sert pour le mercure. On nettoie ensuite cette même plaque avec de l'eau pure et un peu de tripoli. Après cette opération, l'image apparaît en noir comme la précédente, et, de plus, la modification produite par le contact de l'ammoniaque s'étend à une telle profondeur dans la plaque, qu'elle ne peut disparaître qu'en usant sensiblement le métal même.

» Ce dernier procédé pourra faciliter le travail de la gravure au burin.

» On peut aussi reproduire sur du fer, du plomb, de l'étain et du laiton ; mais je ne connais pas de moyen d'y fixer l'image.

» Des nombreuses et nouvelles expériences que j'ai faites sur

Digitized by Google

l'iode, je ne citerai ici que celles dont les résultats sont certains. Ainsi, j'ai huilé une gravure à l'encre grasse, et lorsqu'elle a été sèche, je l'ai exposée à la vapeur d'iode. Les épreuves ont été analogues aux précédentes, sauf que le dessin était moins apparent. J'ai ensuite crayonné des dessins sur une feuille de papier blanc (collé à l'amidon) avec du fusain, de l'encre aqueuse (sans gomme) et du plomb : eh bien ! tous se sont reproduits et se reproduisent encore plus nettement lorsqu'ils ont été tracés sur papier préparé pour la peinture à l'huile. J'ai fait ensuite un tableau à l'huile (non verni) et je l'ai reproduit également, à l'exception de certaines couleurs composées de substances qui ne prennent pas l'iode. Il en est de même des gravures coloriées. On comprendra cela quand je dirai qu'une gravure soumise à la vapeur du mercure ou du soufre ne prend plus l'iode ; il en est de même si on la trempe dans du nitrate de mercure étendu d'eau, dans du nitrate d'argent, dans des sulfates de cuivre, de zinc, etc. : l'oxyde de cuivre, le minium, l'outremer, le cinabre, l'orpin, la céruse, la gélatine, l'albumine et la gomme produisent le même effet. Cependant des dessins faits avec ces matières peuvent se reproduire en leur faisant subir, avec quelques modifications, la préparation indiquée plus haut ; aussi puis-je dire que je n'ai pas trouvé de dessins que je n'aie pu reproduire, à l'exception de ceux qui sont faits avec l'iodure d'amidon.

» Je parlerai maintenant d'une seconde propriété que j'ai reconnue à l'iode, et qui est tout à fait indépendante de la première : c'est celle dont il jouit de se porter sur les dessins en relief et sur tous les corps qui offrent des tranches, quelles qu'en soient la couleur et la composition.

» Ainsi, tous les timbres secs sur papier blanc se reproduisent parfaitement.

» Les tranches d'une bande de verre ou de marbre se reproduisent également ; les mêmes effets ont lieu avec d'autres fluides élastiques, gaz ou vapeurs, tels que la fumée du phosphore exposé à l'air et la vapeur de l'acide azotique. Mais l'iode n'en a pas moins la propriété dont j'ai parlé au commencement, puisque j'ai obtenu les résultats suivants : j'ai réuni un morceau de bois blanc et un morceau

Digitized by Google

d'ébène ; après les avoir collés, je les ai rabotés ensemble, ce qui m'a donné une tablette blanche et noire parfaitement plane ; je l'ai ensuite soumise à la vapeur d'iode, puis appliquée sur une plaque de cuivre : la bande noire seule s'est reproduite. J'ai fait de pareils assemblages avec de la craie et une pierre noire, et j'ai toujours obtenu les mêmes résultats.

» Tous ces phénomènes se manifestent dans l'obscurité la plus grande que l'on puisse obtenir aussi bien que dans le vide.

» Je répéterai ici que, si on laisse trop longtemps les objets exposés à la vapeur d'iode, les blancs finissent par s'en imprégner, mais les noirs se distingueront toujours sur la plaque du métal d'une manière frappante.

» J'ai fait également des expériences avec le chlore et le brome : le premier m'a donné les mêmes résultats que l'iode ; mais le dessin reproduit est si faible, qu'il faut souffler sur le métal pour l'apercevoir, ou bien soumettre la plaque de cuivre à la vapeur d'ammoniaque, et la plaque d'argent à la vapeur du mercure, pour qu'il apparaisse visiblement.

» Je n'ai rien obtenu avec le brome : toutes mes expériences ont été faites sur des plaques d'argent ou de cuivre.

» Il est une expérience que je crois devoir citer dans l'intérêt de la théorie : c'est qu'ayant appliqué une couche d'empois sur du plaqué d'argent propre au daguerrotype et sur du cuivre, le dessin d'une gravure que je comptais reproduire sur la couche d'empois s'est fixé sur le métal sans laisser de trace sensible sur la couche d'empois : il est donc clair que l'iode a passé au métal en faveur d'une affinité supérieure à celle qu'il a pour l'amidon.

DEUXIÈME PARTIE. — *Du phosphore.* — « J'ai trouvé au produit de la combustion lente du phosphore exposé à l'air libre la même propriété qu'à l'iode, de se porter sur les noirs d'une gravure et de toute espèce de dessins, quelle que soit la nature chimique du noir.

» Ainsi, en soumettant une gravure à la vapeur du phosphore brûlant lentement dans l'air, en l'appliquant ensuite sur une plaque de cuivre, la mettant sous presse pendant quelques minutes, et la soumettant à la vapeur de l'ammoniaque liquide, on a un dessin par-

Digitized by Google

faitement net et très-bien fixé ; le dessin n'apparaît nullement lorsqu'on sépare le dessin de la plaque de cuivre, et il faut absolument recourir à l'ammoniaque pour le rendre visible, de même que, si on veut l'avoir sur une plaque d'argent, il faut soumettre celle-ci à la vapeur du mercure.

» J'ai tracé des raies noires et blanches avec des couleurs à l'huile sur de la toile à tableaux ; je les ai soumises à cette même vapeur, et les bandes noires seulement se sont reproduites sur la plaque de métal, c'est-à-dire que les noires s'étant imprégnées de vapeur, et qu'ayant été mises en contact avec du cuivre, la matière de la vapeur a agi sur le métal, et les bandes blanches qui n'en contenaient pas ont laissé le cuivre à nu. Cette plaque ayant été soumise à la vapeur d'ammoniaque, l'image est devenue très-visible.

» Quelle que soit la durée de l'exposition d'une gravure à la vapeur du phosphore, les noirs seuls s'en imprègnent ; mais dans le cas où elle resterait longtemps, le dessin apparaît un peu sur la plaque, comme si l'on y avait tracé des caractères avec un morceau de phosphore ; et en la soumettant à la vapeur d'ammoniaque, le dessin apparaît comme en relief.

» Une plaque d'argent ou de cuivre, soumise à cette même vapeur, reproduit par contact toute espèce de dessins, et donne une épreuve positive. Il est entendu que, pour faire paraître les dessins, il faut les exposer au mercure ou à l'ammoniaque.

» La vapeur du sulfure d'arsenic jaune (orpiment) chauffé dans l'air donne à la gravure qu'on y expose pendant cinq minutes environ, la propriété d'imprimer sa propre image à une plaque de cuivre ou d'argent poli, sur laquelle on la presse sans aucune préparation. C'est une opération très-facile à faire, et qui, par cela même, pourra être très-utile au graveur au burin.

TROISIÈME PARTIE. — *De l'acide azotique.* — » Avec l'acide azotique, j'ai obtenu les résultats suivants :

» En soumettant une gravure (quelle que soit la composition du noir) à la vapeur qui se dégage de l'acide azotique pur, l'appliquant ensuite sur une plaque d'argent ou de cuivre, l'y laissant pendant quelques minutes, on obtient une épreuve négative très-visible. Les

Digitized by Google

blancs sont chargés d'une vapeur blanche, et les noirs sont le cuivre pur.

» Une gravure huilée, et des caractères tracés avec du fusain sur du papier blanc, m'ont donné les mêmes résultats. J'ai ensuite soumis à la même vapeur une tablette composée de bois blanc et d'ébène, et la bande blanche seule est reproduite.

» Je préviens que si on laisse longtemps une gravure exposée à la vapeur de cet acide, les noirs finissent par s'imprégner comme les blancs, et que la plaque de métal sur laquelle on a appliqué la gravure se trouve alors recouverte d'une couche uniforme qui n'offre plus aucune trace de dessin.

» Une gravure ne peut servir qu'à faire une ou deux épreuves au plus; il faut, après cela, la laisser à l'air vingt-quatre heures avant de pouvoir opérer de nouveau, et souvent elle ne reproduit plus son image. On voit par là que l'effet n'est pas caractérisé, comme il l'est avec l'iode et le phosphore.

» Cette vapeur se porte également sur les reliefs et sur les tranches; ainsi un tableau à l'huile et des timbres secs se reproduisent très-bien par ce moyen.

» Les mêmes effets ont lieu avec le chlorure de chaux sec; seulement il faut le chauffer un peu avant d'exposer la gravure à la vapeur qui se dégage de cette substance, et qui donne, comme l'acide azotique, une épreuve négative. »

Annexe au Mémoire précédent.

« Ayant pris des plumes d'oiseaux présentant du noir et du blanc (comme celles des ailes de la pie ou de la queue du vanneau), les ayant soumises à la vapeur d'iode, les noirs se sont distingués des blancs d'une manière sensible, et j'ai fait avec la même plume huit à dix épreuves sur cuivre, qui toutes m'ont donné une ligne de démarcation très-prononcée entre le noir et le blanc.

» J'ai ensuite plongé une gravure dans de la teinture d'iode, et j'ai fini, après plusieurs épreuves successives sur papier collé à l'amidon, par avoir une épreuve positive parfaitement nette, comme si j'avais opéré avec la vapeur d'iode; il en est de même si l'on trempe la gravure dans de l'eau d'iode.

Digitized by Google

» Je dois prévenir que, dans la reproduction d'une gravure, tous les points noirs ou colorés qui se trouvent presque toujours dans la pâte du papier se reproduisent comme les traits de la gravure; il faut, dans ce cas, les faire disparaître de l'épreuve en les touchant avec de l'ammoniaque, ou par tout autre moyen.

» Avant de quitter les épreuves positives pour passer aux négatives, je dirai que j'ai obtenu avec la pyrite de fer ce que j'avais obtenu avec le sulfure d'arsenic; cependant ce dernier est préférable sous le rapport de la facilité de l'exécution du procédé, et parce qu'il ne laisse aucune trace sur la gravure. Ces dessins résistent à l'eau-forte.

» J'ai également obtenu une épreuve positive avec le deutochlorure de mercure (sublimé corrosif); si l'on passe le dessin sur cuivre à la vapeur d'ammoniaque, il apparaît beaucoup mieux et se trouve très-bien fixé.

» Je parlerai maintenant des épreuves négatives que j'ai obtenues avec des substances douées de la propriété de se porter sur les blancs d'une gravure de préférence aux noirs, telles que l'acide azotique. Voici ce que j'ai obtenu de nouveau avec cette substance : j'ai trempé des caractères d'impression dans de l'acide azotique pur (ayant eu l'intention de les retirer de suite); je les ai appliqués sur une plaque de cuivre, et les ayant enlevés après un certain temps, j'ai trouvé des caractères en relief ressemblant à une planche typographique.

» Si l'on trempe une gravure dans de l'eau acidulée d'acide azotique; qu'on la laisse sécher jusqu'à ce qu'elle n'ait plus qu'un peu d'humidité, et qu'on l'applique ensuite sur une plaque de métal, on a une épreuve négative habituellement très-lisible; mais, dans le cas où elle ne le serait pas, il suffit de souffler sur la plaque pour faire paraître le dessin. Une plaque noire et blanche, traitée de la même manière, m'a donné également une épreuve où le blanc seul s'est reproduit : résultat inverse de celui que l'on obtient en imprimant sur le métal la plume qui a été exposée à la vapeur d'iode.

» L'acide chlorhydrique produit à peu près le même effet que l'acide azotique; mais ce dernier est bien préférable.

» J'ai dit que le chlorure de chaux (hypochlorite de chaux) donnait une épreuve négative lorsqu'on soumet une gravure à la va-

Digitized by Google

peur qui s'en dégage, résultat opposé à celui que produit le chlore. L'épreuve est encore négative si l'on plonge une gravure dans du chlorure de chaux liquide, tandis que l'épreuve est positive si on la trempe dans du chlore pur.

» Lorsqu'une gravure est exposée au contact du chlorure de chaux dissous dans l'eau ou à la vapeur qu'il exhale par sa chaleur, il arrive qu'en l'appliquant ensuite sur un papier de tournesol bleu, les blancs de la gravure sont reproduits en blanc, tandis que si la gravure est exposée au contact de l'eau de chlore ou à la vapeur qu'elle exhale, les noirs sont reproduits en rouge. Mais pour obtenir ces résultats, il faut surtout, pour le chlorure de chaux, élever la température à 40 degrés environ. Les mêmes efforts ont lieu sur argent et sur cuivre. »

De la photographie sur verre, par M. NIEPCE DE ST-VICTOR.

« Quoique ce travail ne soit qu'ébauché, je le publie tel qu'il est, ne doutant pas des rapides progrès qu'il fera dans des mains plus exercées que les miennes, et par des personnes qui opéreront dans de meilleures conditions qu'il ne m'a été permis de le faire.

» Je vais indiquer les moyens que j'ai employés, et qui m'ont donné des résultats satisfaisants, sans être parfaits ; comme tout dépend de la préparation de la plaque, je crois devoir donner la meilleure manière de préparer l'empois.

« Je prends 5 grammes d'amidon, que je délaye avec 5 grammes d'eau, puis j'y en ajoute encore 95 grammes, après quoi j'y mêle 35 centigrammes d'iodure de potassium, étendu dans 5 grammes d'eau. Je mets sur le feu : lorsque l'amidon est cuit, je le laisse refroidir, puis je le passe dans un linge, et c'est alors que je le coule sur les plaques de verre, ayant l'attention d'en couvrir toute la surface le plus également possible. Après les avoir essuyées en dessous, je les pose sur un plan parfaitement horizontal, afin de les sécher assez rapidement au soleil ou à l'étuve, pour obtenir un endroit qui ne soit pas fendillé, c'est-à-dire pour que le verre ne se couvre pas de cercles où l'enduit soit moins épais qu'ailleurs (effet produit, selon moi, par l'iodure de patassium). Je préviens que l'amidon doit toujours être préparé dans un vase de porcelaine, et que la quantité

Digitized by Google

de 5 grammes que je viens d'indiquer est suffisante pour enduire une dizaine de plaques, dites d'*un quart*. On voit par là qu'il est facile de préparer une quantité de plaques à la fois. Il importe encore de ne pas y lasser de bulles d'air, qui feraient autant de petits trous dans les épreuves.

» La plaque étant préparée de cette manière, il suffira, lorsqu'on voudra opérer, d'y appliquer de *l'acétonitrate* d'argent, au moyen d'un papier trempé à plusieurs reprises dans cette composition ; on prendra ensuite un second papier imprégné d'eau distillée, que l'on passera sur la plaque. Un second moyen consiste à imprégner préalablement la couche d'empois d'eau distillée, avant de mettre l'acétonitrate ; dans ce dernier cas, l'image est bien plus noire, mais l'exposition à la lumière doit être un peu plus longue que par le premier moyen que j'ai indiqué.

« On expose ensuite la plaque dans la chambre obscure, et on l'y tient un peu plus de temps peut-être que s'il s'agissait d'un papier préparé par le procédé Blanquart. Cependant, j'ai obtenu des épreuves très-noires en 20 ou 25 secondes, au soleil, et en 1 minute à l'ombre. En chauffant un peu la plaque, on peut opérer en moins de temps. L'opération est conduite ensuite comme s'il s'agissait de papier, c'est-à-dire que l'on se sert de l'acide gallique pour faire paraître le dessin, et du bromure de potassium pour le fixer.

» Tel est le premier procédé dont je me suis servi ; mais ayant eu l'idée d'employer l'albumine (blanc d'œuf), j'ai obtenu une supériorité remarquable sous tous les rapports, et je crois que c'est à cette dernière substance qu'il faudra donner la préférence.

» Voici la manière dont j'ai préparé mes plaques : j'ai pris dans le blanc d'œuf, qui a d'autant plus de viscosité qu'il est plus frais, la partie la plus claire (cette espèce d'eau albumineuse) dans laquelle j'ai mis de l'iodure de potassium, puis, après l'avoir coulé sur les plaques, je l'ai laissée sécher à la température ordinaire (si elle était trop élevée, la couche d'albumine se gercerait). Lorsqu'on veut opérer, on applique l'acétonitrate en le versant sur la plaque, de manière à en couvrir toute la surface à la fois, mais il serait préférable de la plonger dans cette composition pour obtenir un enduit bien uni.

Digitized by Google

» L'acétonitrate rend l'albumine insoluble dans l'eau et lui donne une grande adhérence au verre. Avec l'albumine, il faut exposer un peu plus longtemps à l'action de la lumière que quand on opère avec l'amidon ; l'action de l'acide gallique est également plus longue ; mais en compensation on obtient une pureté et une finesse de traits remarquables, et qui, je crois, pourront un jour atteindre à la perfection d'une image sur le plaqué d'argent.

» J'ai essayé des gélatines : elles donnent aussi des dessins d'une grande pureté (surtout si l'on a la précaution de les filtrer, ce qu'il est essentiel de faire pour toutes les substances), mais elles se dissolvent trop facilement dans l'eau. Si l'on veut employer l'amidon, il faudra choisir le plus fin ; pour moi, qui n'ai employé que ceux du commerce, le meilleur que j'aie trouvé est celui de la maison Grouet.

» J'ajouterai que l'on pourra obtenir de très-jolies épreuves positives sur verre opale.

» Ne peut-on pas espérer que, par ce moyen, on parvienne à tirer des épreuves de la pierre lithographique, ne serait-ce qu'en crayonnant le dessin reproduit, si l'on ne peut pas l'encrer autrement? J'ai obtenu de très-belles épreuves sur un *schiste* (pierre à rasoir) enduit d'une couche d'albumine. A l'aide de ce moyen, les graveurs sur cuivre et sur bois pourront obtenir des images qu'il leur sera très-facile de reproduire. »

Deuxième Note sur la photographie sur verre, par M. NIEPCE DE SAINT-VICTOR.

» Les épreuves que j'ai l'honneur de présenter ne sont encore que des reproductions de gravures et de monuments d'après nature, la longueur de l'opération ne m'ayant pas permis de faire le portrait en employant l'albumine seule ; cependant, j'ai obtenu des épreuves de paysages en quatre-vingts et quatre-vingt-dix secondes à l'ombre ; et si l'on mélange du tapioka avec l'albumine, on accélère l'opération, mais on perd en pureté de traits ce que l'on gagne en vitesse.

» J'ai indiqué dans mon mémoire deux substances propres à la photographie sur verre : l'amidon et l'albumine ; j'ai donné les moyens

Digitized by Google

de préparer l'amidon, mais comme l'albumine lui est préférable, je ne parlerai que de celui-ci.

» Voici la manière de procéder :

» On prend deux ou trois blancs d'œufs (selon le nombre de plaques à préparer) dans lesquels on verse de douze à quinze gouttes d'eau saturée d'iodure de potassium, selon la grosseur des œufs; on bat ensuite le blanc en neige, jusqu'à ce qu'ils aient assez de consistance pour tenir sur le bord d'une assiette creuse. On nettoie parfaitement la partie de l'assiette libre, afin d'y laisser l'albumine liquide qui s'échappe de la mousse en plaçant l'assiette sur un plan incliné. Après une heure ou deux, le liquide est versé dans un flacon de verre pour s'en servir au besoin.

» On peut conserver l'albumine pendant quarante-huit heures au moins en le tenant au frais.

» Une grande difficulté existe pour étendre l'albumine également sur la plaque de verre. Le procédé qui m'a le mieux réussi est celui-ci.

» Je mets l'albumine dans une capsule de porcelaine plate carrée, de manière que le fond en soit recouvert d'une couche de deux à trois millimètres d'épaisseur; je place la feuille de verre verticalement contre une des parois de la bassine; je l'incline ensuite en la soutenant avec un crochet, de façon à lui faire prendre tout doucement la position horizontale; je la relève avec précaution au moyen d'un crochet, et je la place sur un plan parfaitement horizontal.

» Tel est le moyen qui m'a donné les meilleurs résultats et avec lequel on peut obtenir une couche d'égale épaisseur; chose essentielle, car s'il y a des excès d'albumine dans certaines parties de la plaque, elles s'écailleront sur le cliché.

» Lorsque l'albumine aura été appliqué comme je viens de le dire, on le fera sécher à une température qui ne doit pas dépasser 15 à 20 degrés; sans cette précaution, la couche se fendillerait et ne donnerait plus que de mauvais résultats. C'est pour cela que, dans le cas ou la température dépasserait 20 degrés, il conviendrait de ne préparer les plaques que le soir, et de les placer sur un marbre recouvert d'un linge mouillé, elles sèchent alors lentement la nuit: et le lendemain matin on les place dans un lieu frais jusqu'à ce que l'on veuille s'en servir. Sans cette précaution, la couche, quoique sèche, se fendillerait aussitôt qu'elle serait exposée à une température un

Digitized by Google

peu élevée: mais pour obvier à cet inconvénient, on passe les plaques, dès qu'elles sont sèches, dans l'acéto-azotate d'argent, et on les conserve à l'abri de la lumière.

» L'expérience m'a appris que l'image venait tout aussi bien, la couche étant sèche que si elle était mouillée; seulement l'opération est un peu plus longue dans le premier cas; mais cet inconvénient est bien compensé par la facilité que l'on a de transporter les plaques pour opérer au loin.

» La feuille de verre étant enduite d'une couche d'albumine qui contient de l'iodure de potassium, on la passe dans la composition d'acéto-nitrate d'argent, en employant les mêmes moyens que j'ai indiqués pour l'application de l'albumine, et on la lave avec de l'eau distillée, puis on l'expose dans une chambre obscure; on se sert d'acide gallique pour faire paraître l'image, et du bromure de potassium pour la fixer.

» Quant à la supériorité du cliché en verre sur celui en papier, je crois qu'elle est (sauf la vitesse) incontestable sous tous les rapports.

» Pour les épreuves positives, il est reconnu que le papier est plus avantageux que le verre, mais pour obtenir une grande pureté de traits et de plus beaux tons, il faut fortement l'encoller avec de l'amidon.

» Je crois devoir appeler l'attention de l'Académie sur l'avantage que ce nouvel art peut avoir pour l'histoire naturelle et la botanique: je veux parler d'une foule de sujets qu'il est difficile aux dessinateurs et aux peintres de retracer fidèlement: par exemple, les insectes, et particulièrement les lépidoptères, les quadrupèdes et les oiseaux empaillés seront très faciles à reproduire ainsi.

» La botanique pourra également acquérir ainsi des figures de fleurs et de plantes d'une fidélité parfaite, qu'un cliché sur verre permettra de reproduire à l'infini, et que l'on pourra ensuite colorier.

» Tel est le résultat où mes nombreuses recherches m'ont amené, et que je m'empresse de livrer à la publicité.

» J'annoncerai que j'ai l'espoir de trouver bientôt une substance accélératrice qui me permettra d'opérer sur papier aussi promptement

Digitized by Google

que sur le plaqué d'argent ; déjà j'ai obtenu des résultats qui me font espérer de pouvoir présenter avant peu des épreuves de portraits d'après nature. « 20 mars 1850. M. Niepce fait des portraits en cinq secondes. »

Recherches photographiques, par M. BLANQUART-EVRARD, de Lille.

» L'idée d'employer l'albumine rendue sensible à l'action de la lumière par son mélange avec de l'acéto-nitrate d'argent et étendue en couche légère sur une plaque de verre, appartient à M. Niepce de Saint-Victor.

» En proposant de substituer à la pâte du papier un corps complètement transparent et solide qui pût contenir les éléments chimiques, M. Niepce de Saint-Victor ouvrait une nouvelle voie à la photographie sur papier. Répondant à l'appel qu'il fait aux expérimentateurs pour arriver à des résultats pratiques, je crois devoir publier une méthode qui réunit toutes les conditions nécessaires à l'application de la photographie à l'industrie. Les matrices obtenues sur verre par les préparations que je vais décrire sont inaltérables à la lumière, ne perdent aucune de leurs qualités après un nombre infini de tirages, sont susceptibles d'être reconstituées, si par accident on venait à les perdre, pourvu que l'on ait une seule épreuve de la matrice perdue, et enfin elles peuvent dans tous les temps, sous toutes les températures et conditions de lumière, donner des résultats satisfaisants.

«Voici mon mode de préparation. Recueillir, dans un vase profond, un certain nombre de blancs d'œufs; en extraire toute partie solide ou non transparente; éviter aussi toute poussière qui serait, par la suite, une cause de tache; ajouter quinze gouttes d'une dissolution saturée d'iodure de potassium, pour chaque blanc d'œuf; battre les œufs en neige et laisser reposer jusqu'à ce que cette neige revienne à l'état liquide; nettoyer la glace dont on veut se servir, avec de l'alcool, la déposer sur un support qu'elle débordera, et verser dessus une quantité suffisante d'albumine; étendre cette albumine sur toute la surface de la glace, en se servant, pour cela, d'un fragment de verre, de manière que sa tranche reste en contact avec la surface de la glace; faire parcourir par ce fragment, poussant devant lui l'albumine, toute l'étendue de la glace et à plusieurs re-

Digitized by Google

prises. Cette opération, qui paraît puérile, a pour effet de mettre l'albumine en contact parfait avec la surface de la glace, de manière qu'elle en reste encore bien couverte lorsque, par un de ses angles, on fera écouler tout l'excès. Après cette dernière opération, on dispose la glace bien à plat et on laisse sécher.

«L'albumine étant bien séchée sur la glace, on devra la soumettre à une température très-élevée, ou à un très-grand refroidissement, ce qui revient au même, jusqu'à ce que la couche d'albumine présente un aspect totalement fendillé; il ne faut cependant pas pousser jusqu'à l'écartement complet. Ainsi prête, la glace peut être soumise à l'acéto-nitrate d'argent. Il faut que le contact de l'acéto-nitrate avec l'albumine se fasse en un seul temps; car l'albumine se contractant lors de sa combinaison avec l'acéto-nitrate, il y aurait autant de séparations dans la couche qu'il y aurait eu de reprises dans l'immersion. Voici le moyen le plus facile : on verse dans une cuve plus grande que la glace albuminée, une couche d'un demi-décimètre d'acéto-nitrate, on donne ensuite à la cuvette une inclinaison de 45 degrés. Tout le liquide étant ainsi réuni dans la partie inférieure, on place le bord de la glace, le côté albuminé en regard avec le fond de la cuvette, et la cuvette sur la table dans la position horizontale. Ceci fait, on retire à l'instant la glace de la cuvette et on la plonge dans une autre contenant de l'eau; on agite fortement pendant quelques secondes; puis, la retirant, on la fait égoutter en la tenant par un de ses angles et en frappant fortement l'autre sur la table.

« Les glaces ainsi préparées sont photogéniques, elles peuvent être employées indifféremment à l'état humide ou à l'état sec, si l'on doit opérer au loin ou en voyage. De même, on peut faire venir l'épreuve avec l'exposition à la chambre noire, soit immédiatement, soit au retour d'une excursion.

« Cette opération se pratique comme je l'ai indiqué pour le papier, en plongeant la glace dans un bain d'acide gallique saturé; toutefois, pour donner à l'épreuve toute sa valeur, il convient d'ajouter au bain d'acide gallique, quelque peu d'acéto-nitrate d'argent. Il sera prudent de retirer l'épreuve du bain d'acide gallique avant que ses diverses parties aient acquis le ton desirable; car si l'on poussait l'action trop loin, on ne pourrait pas atténuer les tons trop foncés

Digitized by Google

qu'elle présenterait alors; tandis que si les nuances étaient trop faibles, on pourrait, sans inconvénient, la soumettre de nouveau à l'action de l'acide gallique, la matrice eût-elle déjà servi à produire un très-grand nombre d'épreuves.

« Après cette opération, on doit laver la glace à grande eau et la passer enfin dans une dissolution de bromure de potassium, 50 grammes par 100 grammes d'eau, puis la laver encore à grande eau; et enfin la faire sécher en la maintenant étendue horizontalement dans la chambre noire, si la couche d'albumine a formé quelques cloches et s'est soulevée par places, par suite des diverses immersions qu'elle aura subies.

« Ainsi traitée, l'albumine acquiert sur la glace une dureté et une solidité extrêmes, à tel point que, lorsqu'une épreuve incomplète doit être détruite pour faire servir de nouveau la glace, il faut avoir recours à un agent chimique très-énergique, comme le cyanure de potassium, par exemple, pour l'enlever complètement.

» Les épreuves positives s'obtiennent de la même manière qu'avec les clichés sur papier. »

Personne n'essaiera de constater l'habileté de M. Blanquard-Everard qui est certainement passé maître en photographie; mais on pourrait lui reprocher, dans l'intérêt de la vérité historique, une trop grande tendance à s'approprier l'œuvre de ses prédécesseurs. Il n'a pas assez rendu justice à M. Talbot, et à M. Tanner, élève de M. Talbot, qui l'initia, lui, M. Blanquart-Everard, au secret de la photographie sur papier. Dans sa lettre à l'Académie insérée dans les comptes rendus du 11 janvier 1847, il demandait que le paquet contenant la description de ses procédés, ne fût ouvert qu'autant que ces procédés seraient publiés dans les comptes rendus. Qui ne fut tenté de croire, en voyant M. Blanquart-Everard imposer ses conditions, qu'il s'agissait d'une méthode entièrement nouvelle, inventée par lui et restée sa propriété? Et cependant il n'en est point ainsi; les procédés publiés par l'Académie, sont à quelques variations insignifiantes près, la méthode calotype de M. Talbot enseignée à Lille en 1844 par M. Tanner, et remise par écrit à plusieurs amateurs qui l'avaient achetée, et au nombre desquels se trouvait M. Blanquart-Everard. *Unicuique suum.*

Digitized by Google

Méthode chimique et pratique de photographie sur papier, par M. le docteur GUILLOT-SAGNEY.

Nous n'avons remarqué rien de neuf dans la brochure de M. Guillot-Sagney ; si ce n'est peut-être le conseil de soumettre au feu, pour la fixer définitivement et mieux, l'image positive plongée dans la solution d'hyposulfite de soude : la décomposition du sel serait ainsi plus complète et plus prompte.

Expériences concernant l'action des rayons continuateurs, par M. GAUDIN.

M. Gaudin a démontré : 1° que les rayons transmis par le verre jaune-orangé continuent si bien les impressions subies par les plaques d'argent iodurées, qu'on obtient des épreuves complètes sans mercure par le seul effet de continuation, épreuves qui ne le cèdent en rien aux plus beaux produits du mercure ; 2° qu'en faisant succéder à l'action du verre jaune, celle du mercure, on obtenait aussi des épreuves complètes, et c'est par ce moyen qu'il a fait les premières images.

Observations sur les expériences de MM. Fizeau et Foucault, relatives à l'action des rayons rouges sur les plaques daguerriennes, par M. EDMOND BECQUEREL.

MM. Fizeau et Foucault croyaient avoir démontré, comme nous l'avons rappelé ailleurs, que la partie la moins réfrangible du spectre solaire agit sur l'iodure d'argent en sens inverse de la partie la plus réfrangible.

M. Ed. Becquerel conteste la légitimité de la conclusion que ces physiciens tiraient de leurs expériences. Il n'est nullement disposé à admettre l'existence des rayons négatifs ou protecteurs : suivant lui, toute la partie active du spectre agit chimiquement de la même manière ; les nombreuses anomalies observées doivent être attribuées à la composition et à l'épaisseur variable des diverses couches sensibles, à la durée de l'exposition, etc. etc. Ce qu'il y a de plus singulier, c'est

Digitized by Google

que M. Ed. Becquerel persiste à maintenir sa distinction entre les rayons excitateurs et continuateurs, quoique la différence soit un phénomène purement accidentel et tout à fait relatif, entièrement analogue à celle qui distingue les rayons positifs, négatifs, protecteurs, distinction dont M. Ed. Becquerel ne veut absolument pas.

Sur un procédé qui permet de reproduire avec une égale perfection dans une image daguerrienne les tons brillants et les tons obscurs du modèle, par MM. BELFIELD-LEFEVRE et Léon FOUCAULT.

La nouvelle méthode consiste à polir la plaque et à l'iodurer comme à l'ordinaire, puis à lui faire absorber par un procédé quelconque une quantité de vapeur de brôme égale à trois fois celle que la pratique et l'usage ont reconnu susceptible de communiquer aux plaques le maximum de sensibilité. Tandis que la dose de brôme ordinaire ne change pas visiblement la teinte de la couche iodurée, la nouvelle dose lui fait acquérir une teinte foncée d'un violet bleuâtre. La sensibilité des plaques ainsi surchargées de brôme se trouve réduite au tiers, mais elles sont devenues aptes à donner une épreuve complète et détaillée de sujets qui présentent les plus grandes variétés de tons.

Action de la lumière sur le bleu de Prusse exposé dans le vide, par M. CHEVREUIL.

L'illustre chimiste résume ainsi lui-même sa note :

« Il résulte de mes expériences :

» 1° Que, sous l'influence du soleil, le bleu de Prusse dans le vide perd sa couleur bleue en perdant du cyanogène ou de l'acide cyanhydrique;

» 2° Qu'il reprend sa couleur bleue instantanément sous l'influence du gaz oxygène absolument sec;

» 3° Que dans cette coloration il se produit une quantité de peroxyde de fer correspondante à la quantité de fer décyanuré, peroxyde qu'on peut dissoudre dans l'acide chlorhydrique;

» 4° Qu'il reste à expliquer pourquoi le bleu de Prusse fixé sur le coton et la soie, peut être décoloré en perdant du cyanogène ou de l'acide cyanhydrique, et recoloré sous l'influence de l'oxygène jus-

Digitized by Google

qu'à cinq fois, sans paraître altéré dans sa couleur, et sans qu'alors il cède une quantité notable de peroxyde de fer à l'acide chlorhydrique. »

RAYONS PHOSPHOROGÉNIQUES.

Sur la phosphorescence produite par insolation; par M. EDMOND BECQUEREL.

« En résumé, dit M. Edmond Becquerel, les résultats consignés dans cette note, conduisent aux conséquences suivantes.

» 1° Le sulfure de calcium phosphorescent, ou, pour mieux dire, le phosphore de Canton préparé de diverses manières, de façon à luire avec des teintes différentes, devient lumineux entre des limites différentes du spectre solaire.

» On remarque, en général, deux *maxima* d'action, dont l'un, le plus éloigné du violet, conserve sensiblement la même position dans les diverses préparations. Cet effet est-il dû à un mélange de substances, ou à des conditions physiques différentes de la même matière? c'est ce que nous n'avons pas encore pu décider.

» 2° Il se manifeste deux actions bien distinctes de la part du rayonnement solaire sur les substances phosphorescentes en général, et sur le sulfure de calcium en particulier : 1° phosphorescence produite, ou modification telle que la matière devient lumineuse après une exposition préalable dans certaines parties du spectre; cet effet a lieu, en général, au delà du violet; 2° destruction de la phosphorescence, ou action telle, que la modification produite par les premiers rayons est détruite complétement : cet effet se manifeste depuis le violet jusqu'au delà du rouge. Mais ce qu'il faut observer, c'est que cette destruction ne s'opère pas en rendant immédiatement obscur le sulfure exposé préalablement aux rayons les moins réfrangibles : le sulfure brille même pendant quelque temps; puis, lorsqu'il a émis toute la lumière qu'il peut émettre, c'est-à-dire celle qu'il aurait manifestée en le chauffant jusqu'au rouge, alors il n'est plus lumineux. Si ensuite, on élève sa température, il reste obscur et ne peut émettre de nouveau de la lumière que par une exposition nouvelle aux rayons les plus réfrangibles.

» Ainsi, lorsqu'on expose une substance phosphorescente par inso-

Digitized by Google

lation à l'action des rayons les plus réfrangibles, rentrée dans l'obscurité, cette substance devient lumineuse, et peu de temps après cesse de luire, mais la modification qu'elle a reçue du rayonnement, n'est pas détruite pour cela, et une élévation de température la rend de nouveau lumineuse. La lumière qu'elle émet ainsi est de courte durée; peu d'instants après, la substance redevient obscure, et pour que la chaleur donne lieu à une nouvelle émission de lumière, il est nécessaire que cette substance soit de nouveau exposée au rayonnement solaire. Mais le fait principal que j'ai voulu mettre en évidence dans cette note est le suivant.

» Lorsque la substance phosphorescente a été modifiée par les rayons les plus réfrangibles, de manière à ce que, quoique non lumineuse à la température ambiante, elle le devienne dans l'obscurité par l'action de la chaleur, alors les rayons les moins réfrangibles, même en n'échauffant pas cette substance, agissent de la même manière que la chaleur, donnent lieu à une émission de lumière, et la substance phosphorescente redevient obscure. »

Matière phosphorescente des poissons et phosphorescence de la mer, par M. MATTEUCCI.

La lumière des poissons phosphorescents persiste longuement dans des milieux dans lesquels le phosphore ordinaire ne luit pas, comme dans les gaz qui ne contiennent pas d'oxygène, et dans la vapeur d'éther. L'eau dans laquelle on agite des poissons phosphorescents devient d'apparence laiteuse et très-lumineuse; dans l'obscurité, la lumière disparaît peu à peu, mais à la moindre agitation de l'eau, elle reparaît. Introduite dans le vide ou recouverte d'une couche d'huile, cette eau présente les mêmes phénomènes, c'est-à-dire cesse d'être lumineuse, et le redevient par l'agitation.

Un poisson vivant, mis dans un gaz privé d'oxygène, n'est pas devenu phosphorescent, même après plusieurs jours; remis dans l'air après ce temps, il n'y donne plus de lumière; il est vrai qu'il ne présente pas non plus les phénomènes de la putréfaction ordinaire. Il semblerait que la lumière des poissons phosphorescents est due à une substance qui se développe dans la putréfaction, et qui exige pour cela la présence de l'oxygène, mais qui luit indépendamment de l'oxygène, et par une action presque physique.

Digitized by Google

La phosphorescence de la mer se comporte en général comme celle des poissons ; cependant elle en diffère par deux circonstances notables.

A 2 ou 3 degrés, la phosphorescence des poissons cesse, tandis qu'en refroidissant de l'eau de mer à 3 ou 4 degrés, la lumière des points brillants devient plus vive et plus persistante.

En jetant de l'ammoniaque, de l'alcool, des acides sur l'eau de la mer, elle devient très-lumineuse ; c'est même une jolie expérience à voir. Il en est tout autrement pour la phosphorescence des poissons.

Ces deux résultats sont de nature à faire croire, comme il paraît que c'est l'opinion générale des physiologistes, que la phosphorescence de la mer et celle des poissons ont une origine différente.

RAPPORTS DU MAGNÉTISME AVEC LA LUMIÈRE.

Note sur les phénomènes de polarisation magnétique observés dans les verres trempés et dans les parallélipipèdes de Fresnel, par M. BERTIN.

« 1° Verres trempés, chauffés, comprimés. — Toutes les fois que la modification moléculaire, trempe, échauffement, compression, est assez intense pour développer des couleurs vives dans la lumière polarisée, ces couleurs n'éprouvent plus aucun changement sous l'action du courant, c'est-à-dire que le flint paraît insensible au magnétisme.

» 2° Parallélipipède de Fresnel. — Quand la lumière a subi, dans l'intérieur des parallélipipèdes, quatre réflexions totales, le plan de polarisation du rayon réfléchi n'est plus dévié par l'action du courant, quoique ces parallélipipèdes soient taillés dans un flint doué d'un pouvoir rotatoire magnétique considérable.

» Le seul effet produit alors est une augmentation ou une diminution de la dépolarisation partielle résultant de la réflexion totale. Le sens et la grandeur de cet effet dépendent du sens du courant et de l'azimut du plan de polarisation de la lumière réfléchie. Quand on fait varier cet angle d'une circonférence entière, on trouve qu'en partageant la circonférence en huit octants à partir du plan de réflexion A : le courant qui tend à produire une rotation à droite

Digitized by Google

augmente la dépolarisation dans le premier octant, la diminue dans le deuxième, pour l'augmenter de nouveau dans le troisième, et ainsi de suite ; le courant inverse produit, en général, des effets contraires. B : la plus grande différence entre les actions des deux courants s'observe dans le milieu de chaque octant, c'est-à-dire de 45 en 45°, à partir de 22°,30. La plus petite différence a lieu au commencement et à la fin de chaque segment de la manière suivante. C : dans les azimuts principaux, 0 ,90,180 et 270 degrés, les deux courants agissent de la même manière et avec la plus grande énergie. D : au milieu de chaque quadrant, ou dans les azimuts 45,135,225 et 315°, les deux courants agissent encore de la même manière, mais leur effet est nul. »

Action des aimants et des courants sur les axes optiques des cristaux, par M. PLUCKER.

M. Plücker écrit à M. Poggendorff, et ce sera pour nos lecteurs une bonne nouvelle, qu'il est enfin parvenu à donner l'explication des nouveaux phénomènes découverts par lui et que nous avons suffisamment décrits. Cette explication est fondée tant sur des expériences directes, que sur des développements mathématiques.

Le paradoxe, par exemple, que la tourmaline suspendue entre les pôles de l'électro-aimant, quoique attirée en masse, fuit néanmoins les pôles, s'explique tout simplement par les lois de l'attraction magnétique ordinaire. Une barre de fer fuit également les pôles, lorsque fixée transversalement par son milieu sur l'extrémité d'une lame de laiton ou d'une substance quelconque non magnétique ou suffisamment indifférente, elle est suspendue de manière à pouvoir osciller horizontalement autour de sa ligne médiane.

M. Plücker admet une induction de courants diamagnétiques analogue à celle des courants magnétiques ; et il démontre par des expériences nouvelles, qu'une lame de bismuth contournée en spirale, et traversée par un courant, prend une polarité diamagnétique opposée à la polarité magnétique. Ce principe établi, tous les phénomènes observés s'expliquent par ces faits : 1° qu'il se développe par induction dans le cristal, ou mieux dans chaque molécule du cristal, soit une polarité magnétique, soit une polarité diamagnétique suivant le

Digitized by Google

caractère magnétique ou diamagnétique de la masse du cristal ; 2° que cete polarité naît dans telle ou telle direction avec plus ou moins de facilité et d'énergie suivant les conditions particulières de l'élasticité de l'éther : de même, par exemple, que par induction une lame de fer doux se transforme plus facilement en aimant longitudinal qu'en aimant transversal ; de même encore, que les courants magnétiques d'Ampère naissent et se fixent plus facilement dans certains plans déterminés que dans d'autres.

M. Plücker annonce la publication prochaine d'un Mémoire rempli d'observations nouvelles et qu'il a faites depuis l'apparition de la thèse inaugurale que nous avons traduite et analysée.

MISCELLANEA.

ANALYSE DES MÉMOIRES DE M. BIOT.

On nous aurait pardonné difficilement d'avoir passé sous silence les mémoires présentés à l'Institut par deux académiciens illustres, MM. Biot et Cauchy. Pour échapper à tout reproche, nous avons pris notre cœur à deux mains et nous avons fait l'analyse complète de leurs innombrables pages. La voici dans toute sa vérité.

1. — 25 août 1845. *Sur les propriétés optiques des appareils à deux rotations.* — Ce mémoire est une étude scrupuleuse, insidieuse peut-être, de la plaque à deux rotations de M. Soleil. « Ce qui prouve à la fois, dit M. Biot, l'adresse inventive de M. Soleil, ainsi que son habileté d'exécution pratique, c'est qu'il est arrivé à donner à sa plaque, à une différence excessivement petite près, l'épaisseur assignée par le calcul, sans s'aider d'aucune considération théorique, ni même de la mesure des épaisseurs, mais en cherchant seulement à obtenir la teinte de passage, d'après la connaissance qu'il avait de sa nuance à des épaisseurs de cet ordre. »

Cet éloge n'empêche pas M. Biot d'affirmer que les expérimentateurs exacts reconnaîtront avec lui que l'emploi de l'appareil à deux rotations pour la mesure des déviations très-faibles, constituerait un jeu de physique dont les résultats seraient fort suspects. « Heureusement, ajoute-t-il, rien n'oblige à s'y hasarder, car dans la généra-

Digitized by Google

lité des expériences, on évite les déviations très petites en augmentant l'épaisseur des milieux. » Pour tout homme impartial et éclairé, il résultera de ces considérations que la plaque à deux rotations est le plus excellent appareil qu'on puisse employer pour mesurer la rotation du plan de polarisation, quoique M. Biot, toujours prévenu, affirme qu'on ne peut l'employer avec certitude que pour constater l'existence et le sens du pouvoir rotatoire. Quelques années encore et M. Biot aura changé d'avis malgré lui, et peut-être sans l'avouer jamais.

2. — 8 septembre 1845. *Sur une modification de l'appareil de polarisation, employée en Allemagne pour des usages pratiques.* — M. Biot donne dans cette note la description de l'appareil proposé par M. Mistcherlich, et qui se compose essentiellement de deux prismes de Nicol centrés sur un même axe, et maintenus à une distance invariable, avec un intervalle libre dans lequel on introduit le tube contenant le liquide dont on veut mesurer le pouvoir rotatoire. Maintenant que le saccharimètre de M. Soleil existe, l'appareil allemand n'offre plus d'intérêt.

3. — 23 juin 1845. *Sur les moyens d'observation que l'on peut employer, pour la mesure des pouvoirs rotatoires.* — Le but de cette note immense est de défendre contre toutes les innovations les méthodes rigoureuses que M. Biot a données pour déterminer dans chaque cas le sens de l'action moléculaire exercée par les fluides sur le plan de polarisation des rayons lumineux, ainsi que l'intensité spécifique de cette action sur chaque rayon simple.

M. Biot fait grâce à l'appareil allemand composé essentiellement de deux prismes de Nicol centrés sur un même axe, et maintenus à une distance invariable. Il fait prévoir et il accepte à l'avance, de grand cœur, les perfectionnements étudiés et préparés par M. Regnault. Il attaque, en passant, l'appareil de Noremberg que l'on aurait dénaturé en l'écartant du simple but d'exhibition auquel il avait été très-bien approprié par son auteur. Il essaie de démontrer théoriquement et pratiquement que la double plaque de M. Soleil n'est pas une pièce utile à introduire dans nos instruments de recherches, mais qu'elle peut par ses effets optiques propres, et avec l'excellente

Digitized by Google

construction que cet artiste lui donne, fournir des sujets d'études théoriques très-curieux.

Heureusement que la plaque à deux rotations est de plus en plus appréciée et employée dans toutes les recherches nouvelles, et que le saccharimètre, qui, en dépit de l'illustre physicien, donne à un centième près la quantité de sucre, va se propageant de plus en plus !

4. — 30 juin 1845. — Dans cette note, M. Biot proteste contre un mémoire de M. Soleil, qui aurait, dit-il, involontairement sans doute, présenté sous des points de vue fort inexacts, ses principes théoriques et ses méthodes pratiques, de manière à en faire concevoir des idées très-fausses. Il s'agissait de mesurer la déviation du plan de polarisation produite par certains liquides, et M. Biot affirme que les lois abstraites des phénomènes de déviation, sur lesquelles leur mensuration repose, exigent pour leur étude un ensemble d'antécédents théoriques qu'un artiste, même fort habile, peut n'avoir pas eu l'occasion d'acquérir !

5. — 7 juillet 1845. *Remarques sur une communication de* M. BOUCHARDAT. — Voici en résumé l'observation de M. Bouchardat : « L'essence de térébenthine que j'ai examinée, et qui dissolvait imparfaitement le caoutchouc, avait un pouvoir rotatoire moléculaire de — 28° 83′ à gauche. Après la distillation à feu nu, le pouvoir devint — 33° 23′, et la faculté dissolvante fut augmentée comme le pouvoir moléculaire rotatoire. Si cette même essence est modifiée par une température plus élevée, en la distillant sur de la brique pilée, sa propriété dissolvante s'accroît encore, mais la modification moléculaire est aussitôt accusée par une diminution considérable qui n'est plus alors que de — 8° 68′. En élevant les conditions d'exposition à la chaleur, on obtient, avec la même essence de térébenthine, des modifications moléculaires qui peuvent varier dans toutes les opérations, et qui conduisent à admettre un nombre infini d'états isomériques d'une substance de composition définie. »

M. Biot rappelle à cette occasion quelques observations curieuses sur les pouvoirs rotatoires des diverses térébenthines et des essences qu'on en tire. Quelquefois la térébenthine et l'essence ont un pouvoir de même sens, comme pour les térébenthines de Bordeaux.

Digitized by Google

La térébenthine de Venise dévie à droite et l'essence à gauche. La térébenthine anglaise, dite *Caroline*, dévie à gauche et l'essence à droite, etc., etc.

6. — 22 septembre 1845. *Sur les phénomènes rotatoires opérés dans le cristal de roche.* — M. Biot dans ce mémoire, refait dans des conditions nouvelles son étude dès lois qui régissent les mouvements rotatoires des plans de polarisation de la lumière dans le quartz cristallisé, en s'aidant d'un très-grand nombre de plaques parfaitement régulières et taillées perpendiculairement à l'axe avec une rigueur qu'aucun autre artiste n'avait pu atteindre, plaques que M. Soleil avait mis obligeamment à sa disposition. Il détermine mieux qu'il ne l'avait fait jusque-là, avec l'aide de M. Foucault, la longueur d'accès ou d'ondulation du rayon transmis par la plaque de verre rouge dont il s'était servi dans ses expériences. Il admet que les vitesses de rotation des divers rayons, croissantes avec la réfrangibilité, sont en raison inverse des carrés des longueurs d'onde. Il détermine les teintes par la règle de Newton, et la loi formulée d'abord par M. Blanc qui lie entre elles les teintes des divers rayons et les longueurs d'ondes par une expression exponentielle, loi très probablement connue aussi de Newton : il mesure enfin les déviations au moyen du compensateur variable de M. Soleil, et constate que l'expérience reproduit avec toute l'approximation désirable les prévisions du calcul; de telle sorte que l'on peut regarder comme des lois démontrées : 1° la dispersion des plans de polarisation, proportionnelle aux épaisseurs et en raison inverse du carré des longueurs de leurs accès; 2° la loi assignée par Newton pour le calcul des teintes résultant d'un mélange assigné de rayons simples.

7. — 19 janvier 1846. *Sur les phénomènes rotatoires opérés dans le cristal de roche.* — Le but principal que M. Biot s'est proposé dans ce mémoire, est de compléter ses anciennes recherches sur les déviations des plans de polarisation des divers rayons simples qui traversent un milieu doué du pouvoir rotatoire. L'étendue du spectre visible, pour laquelle Newton a établi sa règle de la comparaison des teintes, est notablement moindre que ne le constatent les expériences de Fraunhofer, et les portions excédantes, négligées ou omises, sont sensibles dans les images colorées, développées par les pouvoirs ro-

Digitized by Google

tatoires. Les premières déterminations de teintes faites par M. Biot étaient donc nécessairement défectueuses; il fallait les rectifier, par un mode de discussion nouveau, indépendant de la règle de Newton, M. Biot est parvenu à le faire dans deux cas : 1° quand tous les rayons simples compris entre les raies extrêmes B et H de Fraunhofer ont leurs plans de polarisation dans une amplitude angulaire totale qui n'excède pas un quart de cercle ; 2° quand la section principale du prisme analyseur est dirigée de manière à produire, dans l'image extraordinaire, la teinte violet-bleuâtre, désignée sous le nom de teinte de passage. Dans ces deux cas, l'expérience suit minutieusement les indications du calcul.

M. Biot n'a pas négligé non plus d'employer le procédé ingénieux, imaginé pour vérifier *à posteriori* les valeurs assignées aux vitesses de rotation des différents rayons simples. Nous avons déjà inséré dans notre second volume, page 556, l'énoncé mathématique par lequel M. Biot formule ce procédé ; il nous semble qu'au point de vue physique on peut donner une idée beaucoup plus simple de ce mode d'analyse, dont M. Soleil a fait une de ses plus belles expériences. Un rayon de lumière, polarisé par une glace noire ou un prisme de Nicol, passe à travers une fente rectiligne, arrive normalement à un cristal de roche perpendiculaire à l'axe, puis à un prisme très-réfringent pour être enfin analysé par un second prisme de Nicol, ou un spath d'Islande, suivant qu'on veut obtenir une ou deux images du spectre solaire, que l'on reçoit dans l'œil ou sur un écran, suivant la méthode de projection de M. Soleil. En traversant le cristal de roche, d'une épaisseur plus ou moins grande, le rayon polarisé primitif, est dispersé circulairement, le plan de polarisation de chacun des rayons simples dont il se composait a tourné d'un certain angle, et pour les éteindre tour à tour, il faudra faire tourner l'analyseur d'une quantité plus ou moins grande, et qui varie nécessairement d'un rayon à l'autre. On pourra donc éteindre à volonté les rayons rouge, orangé, jaune, vert, etc.; chaque extinction, d'ailleurs, fera naître, dans le spectre ou dans les deux spectres, une bande noire, marquant la place du rayon éteint; le spectre apparaîtra donc sillonné d'un nombre de bandes obscures plus ou moins grand, suivant l'épaisseur du cristal. En même temps que le nombre de ces bandes s'accroît avec l'épaisseur, elles deviennent de plus en plus fines parce

Digitized by Google

que les plans de polarisation sont plus séparés, et qu'ainsi les rayons échappent mieux aux conditions physiques d'une séparation commune. Si l'on a déterminé à l'avance, en partant des formules de M. Biot, le nombre des intermittences ou bandes noires, on le retrouvera dans l'expérience : on pourrait, au contraire, en partant de cette expérience, qui fait le plus grand honneur à MM. Fizeau et Foucault, déterminer sans peine les déviations des plans de polarisation des divers rayons. Mais, de quelque manière qu'on procède, l'accord entre le calcul et l'expérience ne laissera jamais rien à désirer. M. Biot donne une règle d'arithmétique fort simple par laquelle on prévoit tout de suite les nombres des intermittences qui doivent se former nécessairement ou facultativement, dans l'une et l'autre image, à travers toute plaque d'épaisseur donnée, pour chaque position de la section principale de l'analyseur. Ces nombres croissent graduellement, par sauts brusques, à mesure que l'épaisseur augmente ; et il est assez singulier que dans une même plaque, quelqu'épaisse qu'on la suppose, les nombres qui appartiennent à l'un ou à l'autre des deux spectres ne puissent jamais différer entre eux de plus d'une unité.

8. — 9 mars 1846. *Note sur des mémoires de Fresnel qu'on croyait égarés.* — M. Biot a appris de M. Léonor Fresnel, que tous les mémoires présentés à l'Académie par son illustre frère, et non imprimés, sont entre ses mains parfaitement complets, dans leur état de rédaction définitif attesté par la signature des secrétaires perpétuels Cuvier et Delambre.

Parmi ces mémoires, M. Biot en distingue et signale deux qui semblaient devoir reporter sur lui et M. Arago, une responsabilité qu'ils ne peuvent accepter. Ils avaient été chargés, il est vrai, de faire un rapport à l'Académie sur ces travaux vraiment remarquables, mais il est certain qu'ils ne sont jamais arrivés dans leurs mains. Le premier de ces mémoires a pour titre : *sur les couleurs développées dans les fluides homogènes par la lumière polarisée.* Il fut présenté le 30 mars 1818, et contient 20 pages sur grand papier. On y voit toute la suite d'idées, d'expériences et de calculs, par lesquels Fresnel était parvenu à rattacher le développement, l'ordre et la composition de ces couleurs au mode général de la double réfraction à

Digitized by Google

polarisation rectrangulaire comme il l'avait fait pour les couleurs des lames minces cristallisées, découvertes par M. Arago, lesquelles se présentent expérimentalement avec l'apparence d'un mode de polarisation spéciale distinct de celui-là. M. Biot rappelle avec quels éloges justes et sincères il avait applaudi à cette belle application dans un mémoire présenté à l'Académie en 1818.

Le deuxième mémoire est intitulé : *Mémoire sur la réflexion de la lumière*. Il n'est connu que par un court extrait de six pages in-8, inséré en 1820 dans le tome 15 des Annales de physique et de chimie.

Si l'espace ne nous avait pas manqué, nous aurions inséré dans notre répertoire une longue analyse de ces deux mémoires, quoiqu'ils n'ajoutent aucune idée théorique, aucune expérience fondamentale que nous n'ayons déjà fait suffisamment connaître, au moins dans tout ce qu'elles ont d'essentiel ; ces mémoires, d'ailleurs, ont été publiés dans les *Annales de physique et de chimie*, ainsi que dans les mémoires de l'Académie des sciences.

9. — 14 septembre 1846. *Rapport sur un appareil construit par* M. RUHMKORFF, *pour faciliter l'exhibition des phénomènes optiques, produits par les corps transparents, lorsqu'ils sont placés entre les pôles contraires d'un aimant d'une grande puissance.* — Notre troisième volume renferme une analyse de ce rapport qui n'ajoute rien de nouveau aux faits découverts par M. Faraday.

10. — 15 novembre 1846. *Sur deux produits chimiques obtenus par* M. MITSCHERLICH. — Le premier de ces produits est du sucre de fécule en cristaux définis, transparents, limpides, ayant des faces bien nettes, mutuellement inclinées sous des angles fixes. Ils n'appartiennent pas au système régulier, et possèdent la double réfraction à un degré assez énergique.

L'autre produit consiste en cristaux de chlorure de soude dont la forme appartient au système régulier. On y a reconnu des effets de polarisation lamellaire, ce qui indique un groupement de plusieurs individus.

11. — 13 septembre 1847. M. Biot met sous les yeux de l'Académie un *appareil construit par* M. BARTHÉLEMY BIANCHI, *pour l'étude*

Digitized by Google

phénomènes de polarisation rotatoire. — Le perfectionnement principal apporté à cet appareil consiste dans l'adjonction d'enveloppes métalliques munies intérieurement d'agitateurs et de thermomètres, où l'on peut produire des températures diverses en y faisant passer des courants d'eau ou de vapeur. On pourra ainsi étudier plus facilement les modifications passagères que la diversité de température opère dans les pouvoirs rotatoires.

12. — 23 octobre 1848. *Rapport sur un mémoire* de M. L. PASTEUR, avec ce titre : « *Rapport sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition chimique et le sens du pouvoir rotatoire.* » — M. Biot confirme, sans y rien ajouter d'essentiel, les résultats et les conclusions du beau mémoire de M. Pasteur. « Ce travail, ajoute-t-il, n'a pas seulement le mérite d'avoir été dirigé avec une sagacité rare, vers un but élevé; l'auteur est arrivé par cette voie à une découverte des plus imprévues, et le procédé d'investigation qu'il a employé peut avoir les applications les plus fécondes. »

M. Pasteur avait trouvé que le moyen le plus excellent pour mettre en évidence le pouvoir rotatoire, quelquefois très-faible, des cristaux étudiés par lui, était la plaque à deux rotations de M. Soleil. M. Biot a vérifié ses assertions par le même procédé : c'est un heureux précédent et un acte de justice un peu tardive.

13.—22 octobre 1849. *Rapport sur un mémoire* de M. L. PASTEUR, ayant pour titre : « *Recherches sur les propriétés spécifiques des deux acides qui composent l'acide racémique.* » 14 pages.—Ce rapport ajoute au mémoire de M. Pasteur quelques expériences nouvelles qui donneraient, s'il était possible, un plus grand degré de certitude aux résultats et aux conclusions du jeune et savant cristallographe. M. Biot s'est assuré 1° que l'acide dextroracémique combiné avec l'acide borique donnait des produits, dont la puissance rotatoire était la même, à proportions égales, que celle des combinaisons de l'acide tartrique avec l'acide borique, ce qui démontre l'identité des deux acides tartrique et dextroracémique; 2° que l'acide dextroracémique et l'acide lévoracémique avaient le même pouvoir réfringent, la même double réfraction attractive ou répulsive.

M. Biot rappelle que la découverte des deux nouveaux acides n'est

Digitized by Google

point due au hasard; elle fut la conséquence des recherches théoriques de M. Pasteur. Il ajoute que l'hémyédrie non superposable n'entraîne pas le pouvoir rotatoire : ainsi le sulfate de magnésie et le sulfate de zinc ont ce genre d'hémyédrie et ne dévient pas le plan de polarisation. Cela n'a rien d'étonnant : le pouvoir rotatoire se trouve attaché à un principe organique qui le possède primitivement, et qui souvent le conserve encore après que son mode de groupement intérieur, toujours fort complexe, a été attaqué ou même en partie changé par la substitution de quelques autres éléments chimiques, de sorte qu'il ne le perd tout à fait, qu'après avoir été modifié profondément jusqu'à un degré d'intensité, dont on n'a pas encore fixé la limite probablement diverse.

Il conclut enfin que le travail de M. Pasteur est la continuation à la fois intelligente, habile et patiente de ses premières recherches; que c'est un chapitre tout nouveau de chimie, que M. Pasteur a eu le bonheur ainsi que le talent de commencer et de finir.

14. — 10 décembre 1849. *Sur la manifestation du pouvoir rotatoire moléculaire dans les corps solides.* — M. Laurent avait appris à M. Biot qu'au moyen d'une manipulation spéciale, il pouvait fondre par la chaleur, et solidifier ensuite à l'état amorphe, des masses d'acide tartrique pesant jusqu'à 200 ou 300 grammes, en les conservant transparentes, sans leur faire rien perdre de leur substance, ou en leur en faisant perdre à sa volonté. M. Biot présente à l'Académie les produits de la manipulation habile de M. Laurent, et mentionne les résultats qu'ils lui ont fournis, en les étudiant dans l'état solide où ils se trouvent. Ceux qu'ils ont offerts dans leur retour à l'état liquide, étant redissous dans l'eau, feront l'objet d'une communication ultérieure.

L'acide est fondu, à feu nu, dans des fioles de verre mince, avec des précautions qui préviennent sa carbonisation partielle. Quand il est arrivé au degré requis, on le verse bouillant dans des cuves rectangulaires, à parois de glace, et on le laisse se solidifier. Si on l'interpose dans le trajet du rayon polarisé, pendant qu'il est encore chaud et liquide, on lui trouve un pouvoir rotatoire très-énergique vers la droite. L'élévation de température exalte alors son action dans ce sens, plus que la privation d'eau ne tend à l'affaiblir. Cette

Digitized by Google

prédominance diminue à mesure qu'il se refroidit, et lorsqu'il est revenu à la température ambiante, les déviations qu'il imprime à la lumière polarisée ne se décèlent plus que par de légers changements de nuances dans les images transmises par le prisme analyseur, quand on l'écarte alternativement dans de très-petites amplitudes angulaires à droite et à gauche du plan de polarisation primitif. Les effets restreints offrent ainsi le caractère d'affaiblissement spécial, que la formule tirée des solutions aqueuses faisait présager. On enveloppe la cuve de glace pilée, et le plan de polarisation dévie de 5 degrés, ainsi que l'indiquait la théorie.

Ainsi donc l'acide tartrique solidifié à l'état amorphe, non-seulement dévie les plans de polarisation de la lumière, mais encore continue exactement la même loi physique de variabilité qui règle ses effets sous forme de solution aqueuse.

A ces deux exemples de corps solides, le sucre d'orge et l'acide tartrique exerçant le pouvoir rotatoire, on peut en ajouter une infinité d'autres. L'acide tartrique et l'acide borique, unis par la fusion ignée dans toutes les proportions où ils peuvent rester combinés, donnent des produits qui exercent le pouvoir rotatoire avec une très-grande intensité. Si la quantité d'acide borique croît en proportion arithmétique, le pouvoir rotatoire croît proportionnellement.

Les tartrates alcalins, simples ou doubles, fondus dans leur eau de cristallisation, se solidifient aussi, par le refroidissement, en masses transparentes dans lesquelles le pouvoir rotatoire persiste à se manifester par une grande puissance de déviation.

Il y avait longtemps que M. Biot avait désiré trouver un corps qui, à l'état solide, contrairement au quartz, manifestât le pouvoir rotatoire avec le même caractère d'individualité moléculaire qu'à l'état liquide. « M. Laurent, dit-il, ne peut pas savoir quel plaisir on procure à un vieillard, en lui donnant les moyens de réaliser une idée qu'il a depuis longtemps conçue; je désire que ma reconnaissance le lui apprenne. »

15. — 11 mars 1849. *Recherches expérimentales ayant pour but de savoir si l'eau près de son maximum de densité ou près de son point de congélation*, mais encore liquide, exerce quelque action sur la lumière polarisée.

Digitized by Google

Un savant anglais fort distingué avait appris à M. Biot, que des physiciens de Londres avaient, disait-on, aperçu des effets de polarisation sensibles près du maximum de contraction de l'eau ; ce qui l'engagea à reprendre des expériences qu'il avait faites autrefois. Il n'était pas hors de vraisemblance que les molécules de l'eau se tournassent les unes vers les autres, suivant certaines directions polaires; et si ce mouvement intestin s'opérait avec continuité et régularité dans toute la masse, il pourrait bien rendre l'eau capable d'agir sur la lumière polarisée, à la manière des verres que l'on trempe ou que l'on comprime.

M. Biot se servant de l'appareil construit pour lui, par M. Bianchi, a donc rempli d'eau un tube argenté à l'intérieur, long de 502 millimètres, de 37 millimètres de diamètre et jaugeant 536 centimètres cubes. Un thermomètre très-sensible indiquait à chaque instant la température du liquide, et cette température du 16 octobre 1849 au 1er février 1850 varia de 11° à —2°,3. Chaque jour et plusieurs fois par jour, M. Biot visita son appareil : aucun mouvement possible ne pouvait agiter l'eau contenue dans le tube. Pour saisir jusqu'aux petites traces de pouvoir rotatoire, M. Biot avait eu recours à une plaque à deux rotations de la construction plus sensible. Or, dans le cours de ces longs mois, M. Biot n'a observé aucune déviation ; et, d'après le long intervalle de temps durant lequel il a suivi ces effets, comme aussi d'après l'ensemble des précautions qu'il a prises pour les rendre sensibles, s'ils s'étaient produits, il croit être en droit de conclure, que l'eau distillée liquide, aux environs de son maximum de contraction et vers son point de solidification, n'exerce aucune action appréciable sur la lumière polarisée.

Cette expérience négative ne prouve absolument rien au fond : si le tube de M. Biot avait été deux fois, trois fois, quatre fois plus long, n'aurait-il pas observé quelque déviation ? Et puis, qu'il nous permette de le lui dire, la lente expérience tentée par lui pouvait et devait être remplacée par une expérience beaucoup plus importante. Il fallait recourir à l'admirable appareil de M. Arago, au réfracteur interférentiel ou à l'isodostat, et observer par le déplacement des franges d'interférence les variations que subit l'eau dans sa densité de + 10° à — 10° par exemple. On se rappelle qu'à l'occasion de l'élection de M. Despretz, comme membre de l'Académie des

Digitized by Google

sciences, M. Arago contesta les conclusions des recherches de M. Despretz, et alla jusqu'à nier que l'eau eut un maximum réel de pouvoir réfringent, et peut-être même de densité. M. Despretz se doit à lui-même de revenir sur ce point capital; nous l'y engageons vivement. Dans huit jours l'appareil peut être disposé, et en s'aidant d'un mélange réfringent, l'expérience que M. Biot a prolongée pendant cinq mois sera achevée en quelques heures.

16. — *Sur les modifications qui s'opèrent dans le sens de la polarisation des rayons lumineux lorsqu'ils sont transmis à travers des molécules solides ou liquides soumis à des influences magnétiques très-puissantes.* — 1er article. C'est une énorme brochure de 51 pages in-4° très serrées et extraites du *Journal des Savants.*

Le but évident de M. Biot a été de jeter des doutes sur la vérité du système des ondulations. Il parle aux hommes du monde, et leur donne un aperçu des principaux phénomènes de l'optique. Dans l'intérêt de la justice et de la vérité, nous relèverons dans cette longue notice qui ne contient absolument rien de neuf, quelques passages qui nous ont vivement contristé.

Page 19. « Quant à la dispersion, plusieurs géomètres ont fait de grands efforts d'analyse pour la déduire mathématiquement de l'hypothèse ondulatoire : *mais je serais hors d'état de traduire leurs calculs en conceptions physiques.* » Pour ceux qui ont lu notre premier volume, cette assertion paraîtra étrange : La loi de dispersion s'énonce très-simplement comme il suit : le carré de la vitesse de propagation d'un rayon simple qui pénètre dans un milieu isophane se compose de deux termes, l'un constant, l'autre réciproquement proportionnel au carré de la longueur d'ondulation. La raison de la dispersion, c'est que, pour la lumière, la sphère d'action des molécules n'est pas infiniment petite comparée à la longueur d'onde.

Et voilà les conceptions physiques que M. Biot place hors de sa portée! Il est vrai que ces conceptions ont été formulées par M. Cauchy, et que M. Biot ne veut pas et ne peut pas entendre parler de son illustre confrère, dont le nom n'apparaît pas *une seule fois* dans sa brochure.

Page 34. Note. « Huyghens était un très-grand génie, mais spécialement géométrique et mécanique, et ne saisissant les idées que

Digitized by Google

revêtues d'un corps.... On peut être un très-bon géomètre et un très-mauvais philosophe. » Nous protestons avec tous les historiens contre cette affirmation. Ouvrez la première encyclopédie estimée, par exemple, le *Penny cyclopædia :* vous y lirez qu'Huyghens était un philosophe éminemment remarquable par son *exactitude*, sa *pénétration* et une *fraîcheur d'intelligence qui ne l'abandonna jamais.*

Dire de l'immortel auteur du traité de la lumière, qu'il ne saisissait les idées que revêtues d'un corps, c'est formuler un jugement incroyable. Le système de l'émission, le système de Newton, c'est précisément le système matériel; le système de Huyghens, le système des ondulations, c'est comparativement le système immatériel : l'un est corps, l'autre esprit. Huyghens est le premier philosophe du continent, dit le biographe anglais, qui ait donné son assentiment au livre des principes; s'il lui est échappé de dire que le principe de l'attraction Newtonienne lui paraissait absurde, c'est en tant que l'on aurait adopté la réalité de l'attraction; ce dont Newton lui-même se défendait. A l'exception de l'école de Laplace, tous les philosophes sérieux ont proclamé, que pour eux, l'attraction universelle était non une force réelle, incompatible avec l'essence de la matière, mais une force explicative. M. Biot croit-il vraiment à la réalité de l'attraction? La source de sa colère contre Huyghens, c'est qu'Huyghens est le créateur de la théorie des ondulations.

Page 50. M. Biot insinue que les géomètres n'ont pas encore démontré la possibilité d'un mouvement propagé rigoureusement en ligne droite, dans un fluide élastique, sans communication latérale sensible; suivant lui donc, la théorie des ondulations n'aurait pas encore expliqué la propagation rectiligne et le phénomène de la diffraction. Il ajoute cependant que cette difficulté ne paraît pas insoluble. Poisson, aux derniers moments de sa vie, croyait être parvenu à la lever. Mais s'il l'a fait, il a emporté son secret dans le tombeau. — Non, M. Biot, le secret n'a pas été emporté dans le tombeau; M. Cauchy avait, avant M. Poisson, résolu complètement la difficulté : il est vrai que tout ce qui vient de M. Cauchy est pour vous comme non avenu.

Quelques lignes plus bas, en revenant à la dispersion : « *Si Fresnel avait vécu, nous saurions quelque chose.* » Fresnel est mort, et cepen-

Digitized by Google

dant nous savons beaucoup ; ce que Fresnel a tenté plusieurs fois et plus habilement que personne, M. Cauchy l'a réalisé. Encore une fois, M. Biot ne connaît pas M. Cauchy. Il ne s'était point produit sous le soleil une antipathie aussi vive.

M. Biot enfin soulève un dernier doute : « Comment concevoir une régularité persistante dans des milieux agités, aussi disjoints que paraissent l'être les substances enflammées ? Ou me trompé-je en supposant que l'exacte continuité de ces vibrations et celle des ondes lumineuses qui en résulte, est une condition indispensable dans l'hypothèse ondulatoire simple? » C'est bien vague, c'est bien obscur ; mais ici même M. Biot sera encore vaincu : les belles expériences de MM. Fizeau et Foucault ont complètement mis en évidence cette régularité parfaite des mouvements ondulatoires.

En résumé, M. Biot doute encore. Il doute, mais ce doute est-il légitime, est-ce un doute de bonne foi ? Nous en doutons nous-même, quand nous voyons que l'illustre physicien s'obstine à ne parler d'aucun des phénomènes qui ont décidé la grande question qu'il soulève, et démontré que le système de l'émission n'est plus possible. Il ne dit pas un mot des faits singuliers de la réfraction conique; preuve irréfragable de la réalité de la surface de l'onde d'Huyghens et de Fresnel ; il passe sous silence la belle expérience de M. Arago, dans laquelle une lame de mica retarde réellement le rayon qui est forcé de la traverser, contrairement au principe de l'émission ; il ne fait pas même allusion à la non-intenférence des rayons polarisés à angle droit, etc., etc. Mais la science a fait depuis un grand pas en avant : M. Jamin a mesuré expérimentalement le rapport des axes de l'ellipse décrite par la molécule lumineuse, et ce rapport est précisément exprimé par le nombre que donneraient les formules de M. Cauchy : la molécule lumineuse décrit donc réellement une ellipse, et c'en est fait une dernière fois du système de l'émission.

ANALYSE DES MÉMOIRES ET NOTES DE M. CAUCHY.

1. — 30 août 1847. *Sur la polarisation chromatique.* — M. Cauchy, à l'occasion des recherches de M. Von Ettingshausen, prend date, assure ses droits de priorité et cite une formule qui peut représenter les phénomènes de polarisation chromatique.

Digitized by Google

2. — 17 janvier 1848. *Sur la lumière réfléchie par la surface d'un corps opaque et spécialement d'un métal.*—Concevons qne l'on fasse tomber un rayon lumineux sur la surface d'un corps opaque, mais isophane, par exemple, d'un métal, et nommons i l'angle d'incidence formé par le rayon lumineux avec la normale à la surface réfléchissante. Soient d'ailleurs c, e, deux constantes tellement choisies que les deux produits $c \cos e$, $c \sin e$, représentent sous l'incidence perpendiculaire d'une part l'indice de réfraction, d'autre part le coefficient d'extinction. Soient maintenant I^2, J^2 les intensités de lumière des rayons réfléchis, suivant que le rayon incident est polarisé perpendiculairement ou parallèlement au plan d'incidence. On trouve, sous l'incidence perpendiculaire :

$$I^2 = J^2 = \operatorname{tang}\left(\psi - \frac{\pi}{4}\right),$$

ψ étant donné par la formule

$$\cot \psi = \cos e \sin (2 \operatorname{arc\,tang} c);$$

et sous l'incidence oblique

$$I^2 = \operatorname{tang}\left(\varphi - \frac{\pi}{4}\right), \; J^2 = \operatorname{tang}\left(\chi - \frac{\pi}{4}\right),$$

les valeurs de φ et de χ étant déterminées par les formules

$$\cot \varphi = \cos (2e - u) \sin\left(2 \operatorname{arc\,tang} \frac{U}{c^2 \cos^2 i}\right),$$

$$\cot \chi = \cos u \sin\left(2 \operatorname{arc\,tang} \frac{\cos i}{U}\right),$$

dans lesquelles on a

$$\cot (2u - e) = \cot e \cos\left(2 \operatorname{arc\,tang} \frac{\sin i}{c}\right), = U \left(\frac{\sin 2e}{\sin 2u}\right)^{\frac{1}{2}} c.$$

Si le rayon incident est polarisé suivant un plan quelconque, il pourra du moins être décomposé en deux autres rayons polarisés, l'un suivant le plan d'incidence, l'autre perpendiculairement à ce plan. Si l'on suppose ces deux rayons doués, avant la réflexion, de la polarisation rectiligne, en sorte que leurs nœuds coïncident, la réflexion opérée par la surface métallique, séparera ces mêmes nœuds, et si d représente, après la réflexion, la différence entre les phases des deux rayons dont il s'agit, on aura

Digitized by Google

$$\operatorname{tang} d = \operatorname{tang} 2a \sin u,$$

l'angle a étant déterminé par la formule

$$\operatorname{tang} a = \frac{U}{\sin i \operatorname{tang} i}.$$

Pour déterminer les valeurs de c et de e, relatives à chaque métal, il suffit de considérer le cas particulier où l'angle i se réduit à l'incidence *principale*, désignée par M. Brewster sous le nom de *maximum polarising angle*; alors l'angle d est de 45 degrés, et les formules donnent

$$a = \frac{\pi}{4}, \quad U = \sin i \operatorname{tang} i, \quad u = 2A,$$

A désignant l'azimut de réflexion, c'est-à-dire ce que devient l'azimut du rayon réfléchi, quand l'azimut du rayon incident est la moitié d'un angle droit, et l'on trouve

$$\operatorname{tang}(2e - u) = \operatorname{tang} u \cos(\pi - 2i), \quad c = \left(\frac{\sin 2u}{\sin 2e}\right)^{\frac{1}{2}} U.$$

Ces formules permettent de calculer pour chaque métal le coefficient d'extinction et l'indice de réfraction.

Comme pour les divers métaux le rapport $1/c$ est peu considérable, l en résulte que, dans la réflexion sur un métal, on a sensiblement

$$u = e \qquad U = c.$$

Par suite aussi le coefficient d'extinction et l'indice de réfraction n'éprouvent que des variations peu sensibles quand le rayon incident s'écarte de la normale à la surface réfléchissante, et les formules précédentes peuvent être, dans une première approximation, remplacées par les suivantes :

$$\cot \varphi = \cos e \sin\left(2 \operatorname{arc\,tang} \frac{1}{c \cos i}\right),$$

$$\cot \chi = \cot e \sin\left(2 \operatorname{arc\,tang} \frac{\cos i}{c}\right).$$

Ces formules, appliquées à l'acier, depuis $i = 0$ jusqu'à $i = 75°$, ont donné, à moins d'un centième près, les mêmes résultats que les formules générales; et ces résultats se sont trouvés d'accord avec les expériences que M. Brewster a fait connaître dans son mémoire de 1833.

Digitized by Google

Nous avons déjà fait ressortir l'admirable accord des formules de M. Cauchy avec les expériences de M. Jamin.

3. — 24 juillet 1848. *Mémoire sur le mouvement d'un système de molécules.* — Il a paru nécessaire à M. Cauchy d'entreprendre de nouvelles recherches sur les corps considérés comme des systèmes de molécules ou de points matériels, et il fait appel aux physiciens et aux géomètres, les priant de l'aider de leurs lumières, et de voir si les difficultés leur paraissent effectivement résolues. Il présente deux nouveaux mémoires, l'un relatif aux équations générales des mouvements infiniment petits d'un système de molécules; l'autre ayant pour objet les conditions qui se rapportent aux limites des corps, et en particulier les lois de la réflexion et de la réfraction des rayons lumineux.

Le premier de ces mémoires diffère des recherches antérieures de M. Cauchy, en un point qu'il importe de signaler. Autrefois douze inconnues propres à exprimer les mouvements de translation et de rotation des molécules et leurs dilatations dans les divers sens, étaient déterminées par douze équations aux différences mêlées en fonction de quatre variables indépendantes, qui représentaient les coordonnées et le temps. Dans le nouveau mémoire, trois inconnues seulement, savoir les trois déplacements d'un atôme mesurés parallèlement aux axes coordonnés, se trouvent déterminées par trois équations aux différences mêlées en fonction de sept variables indépendantes, savoir, du temps et de six coordonnées, dont trois fixent la position d'une molécule dans l'espace, tandis que les trois autres fixent la position de l'atôme par rapport au centre de gravité de la molécule. Ces équations se simplifient beaucoup quand le système de molécules devient isotrope.

4. — Même date. *Sur les conditions relatives aux limites des corps, et en particulier sur celles qui conduisent aux lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière.* — Suivant une première loi, si un mouvement simple, en rencontrant une surface plane, donne naissance à des mouvements réfléchis et réfractés, ces mouvements sont des mouvements correspondants. Les mouvements réfléchis et réfractés, peuvent être, ou du nombre de ceux qui se propagent sans s'affaiblir, ou du nombre de ceux qui s'éteignent en se propa-

Digitized by Google

gant. Dans le premier cas, ils doivent offrir des ondes planes, qui s'éloignent de la surface réfléchissante. Dans le second cas, les vibrations moléculaires doivent diminuer avec la distance à la surface. Cette loi suffit pour déterminer les ondes planes, liquides, sonores, lumineuses, qui peuvent être réfléchies ou réfractées par la surface de séparation de deux milieux.

Les lois qui déterminent les directions et les amplitudes des vibrations moléculaires, peuvent se déduire, quand chaque milieu renferme un seul système de molécules, du principe de l'égalité entre les pressions exercées par les deux milieux sur la surface de séparation. Si chaque milieu est un corps qui renferme, outre ses molécules propres, les molécules de l'éther ou fluide lumineux, il faudra recourir, en outre, au principe de la continuité du mouvement dans l'éther.

C'est pour la vingtième fois que M. Cauchy énonce ces généralités; nous les savons par cœur.

5. — 11 décembre 1848. *Sur les fonctions* ISOTROPES *de plusieurs systèmes de coordonnées rectangulaires, et spécialement sur celles de ces fonctions qui sont en même temps* HÉMITROPES, *et qui changent de signe avec les coordonnées parallèles à un seul axe.* — Toute fonction développable, suivant les puissances entières des coordonnées, lorsqu'elle est hémitrope, se compose de termes qui sont tous de degré impair, et doit renfermer au moins trois systèmes de coordonnées. *Nec plus, nec minus.*

6. — Même date. *Sur les actions ternaires, ou en d'autres termes, sur les modifications que l'action mutuelle de deux atômes peut subir en présence d'un troisième atôme.* — Influence du platine réduit en éponge, sur la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène. Influence d'un atôme d'un corps sur l'action mutuelle de deux atômes d'éther. Il suffit de tenir compte de cette dernière influence, dans la recherche des formules qui expriment les mouvements infiniment petits du fluide éthéré, puis de réduire les formules trouvées à des équations isotropes, pour retrouver précisément les équations différentielles de la polarisation chromatique. Accord des résultats ainsi obtenus avec les expériences de M. Pasteur. Tout cela est bien beau, mais rien n'a été publié encore.

Digitized by Google

7. — Même date. *Sur les lois de la polarisation des rayons lumineux dans les cristaux à un ou à deux axes optiques.* — Il suffit de supposer les atômes d'éther distribués isotropiquement autour de chaque atôme du corps, puis de tenir compte de l'influence exercée par chaque atôme du corps sur les actions mutuelles des atômes d'éther, pour retrouver la conclusion qui se déduit des expériences de Fresnel, savoir que les vibrations lumineuses dirigées suivant un des trois axes d'élasticité, et comprises dans le plan d'une onde passant par le deuxième ou le troisième axe, offrent, dans l'un et l'autre cas, la même vitesse de propagation.

8. — 18 décembre 1849. *Sur les trois espèces de rayons lumineux qui correspondent aux mouvements simples du fluide éthéré.* — 1° Ceux des rayons lumineux qui se propagent sans s'affaiblir, offrent des vitesses de propagation dont les carrés sont les racines réelles d'une équation du troisième degré. Les deux premières racines de cette équation répondent aux rayons observés jusqu'ici par les physiciens. Elles deviennent égales entre elles dans les milieux isophanes, lorsque les rayons observés se réduisent à un seul. Elles sont distinctes, mais peu différentes l'une de l'autre dans les cristaux à un ou deux axes optiques, et dans les corps isophanes qui font tourner le plan de polarisation. Elles deviennent imaginaires dans les métaux et les corps opaques.

2° Les lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière se déduisent de deux principes fondamentaux : Les principes des *mouvements correspondants* et de la *continuité des mouvements.*

3° On déduit de ces deux principes le mode de polarisation et l'intensité des rayons lumineux réfléchis ou réfractés à la surface d'un corps transparent ou opaque. Ces formules, dans une première approximation, et dans le cas particulier où il s'agit d'un corps transparent dont la surface polariserait complètement un rayon réfléchi sous une certaine incidence, se réduiraient aux formules de Fresnel, et se trouvent d'ailleurs vérifiées par les expériences de M. Jamin.

4° Les expériences qui vérifient les formules de M. Cauchy, vérifient en même temps l'existence du troisième rayon lumineux. Ce troisième rayon disparaît quand la lumière incidente est, ou pola-

Digitized by Google

risée dans le plan d'incidence, ou propagée dans une direction parallèle ou perpendiculaire à la surface réfléchissante, et qu'il s'éteint dans chaque milieu à une distance notable de cette surface.

5° L'existence du troisième rayon semble encore indiquée par la perte de lumière observée dans les rayons réfléchis sous des incidences obliques, et par l'observation de M. Arago que la lumière disséminée par une surface hors de la direction de la réflexion régulière, est polarisée perpendiculairement au plan d'émergence.

9. — 2 janvier 1849. *Mécanique moléculaire.* — M. Cauchy promet de remplir la promesse qu'il a faite à son digne père, qui, après avoir uni, jusqu'en ses derniers jours, l'amour de l'étude et la culture des lettres à la pratique de toutes les vertus, de réunir en un corps de doctrines, et de publier sous le nom de *Mécanique moléculaire*, ses recherches de trente ans sur la physique mathématique. Il débute en donnant les équations du troisième rayon lumineux qui s'éteint à une très-petite distance de la surface réfléchissante, soit dans le premier, soit dans le second milieu. Ces équations sont trop complexes pour que nous les transcrivions ici.

10. — 8 janvier 1849. *Sur les rayons lumineux simples et sur les rayons évanescents.* — Après une longue répétition de ce qu'il a cent fois exposé sur les *déplacements symboliques*, le *module* et l'*argument* du mouvement simple; la direction et la *polarisation rectiligne*, *circulaire*, *elliptique* du rayon lumineux; les *vibrations longitudinales* et *transversales*, M. Cauchy revint au *rayon évanescent* qui tient, dans certains cas, la place d'un rayon à vibrations longitudinales, et se compose de molécules dont les vibrations s'exercent dans des plans perpendiculaires aux traces des plans des ondes sur le plan fixe correspondant au module 1. M. Cauchy prouve par ses formules que son troisième rayon est un rayon évanescent dirigé de manière à raser la surface réfléchissante ou réfringente, et composé de molécules qui dérivent des ellipses comprises dans le plan d'incidence, les plans des ondes étant à la fois perpendiculaires au plan d'incidence et à la surface dont il s'agit. Il n'offre une lumière représentée par une fraction sensible de la lumière incidente, que dans une épaisseur très-petite : mais cette très-petite épaisseur ne sera peut-être pas une raison suffisante pour qu'on doive désespérer de rendre le troisième rayon sensible à l'œil.

Digitized by Google

11. — 15 janvier 1849. *Sur la réflexion et la réfraction de la lumière, et sur de nouveaux rayons réfléchis et réfractés.* — M. Cauchy pour la centième fois, donne l'analyse de tous ses mémoires sur la théorie mathématique de la lumière. Il rappelle comment il a retrouvé tour à tour les vibrations transversales, le théorème d'Huyghens, les lois de la polarisation produite par un cristal quelconque, 31 mai 1830; la forme connue de la surface de l'onde, 14 juin 1830; les lois de la dispersion des couleurs, 1830, bulletin de Férussac; le phénomène des ondes et les lois de la diffraction, 9 mai 1836; les propriétés des rayons évanescents, 11 avril 1836; les lois de la réflexion et de la réfraction opérées par la surface d'un corps transparent, ou même d'un corps opaque et d'un métal, 1836; etc. D'abord il reconnaît que ces formules n'avaient pas encore tout le degré d'exactitude voulu, et n'étaient pas suffisamment démontrées, mais qu'elles ne laissent plus rien à désirer depuis qu'il a découvert les conditions relatives à la surface de séparation des deux milieux, et surtout le principe de la continuité du mouvement et des mouvements correspondants. M. Cauchy revient ensuite aux rayons évanescents dont chacun tient la place d'un mouvement à vibrations longitudinales et qui influent nécessairement sur la production des phénomènes de réflexion et de réfraction lumineuse, comme l'a remarqué un géomètre anglais, M. Green, qui aurait établi définitivement les véritables lois de ces phénomènes, s'il n'avait pas appliqué à l'éther considéré isolément la formule générale du mouvement donnée par Lagrange. Les vitesses de propagation des rayons lumineux sont données par une équation du troisième degré. Si la racine correspondante au troisième rayon ou au rayon évanescent n'est pas nulle, la lumière réfléchie ne sera jamais complétement polarisée. Si l'on décompose un rayon incident polarisé rectilignement en deux rayons plans, renfermés l'un dans le plan de l'incidence, l'autre dans le plan perpendiculaire, les nœuds de ces derniers seront inégalement déplacés par la réflexion, et il en résultera entre les deux rayons une différence de phases qui sera surtout sensible quand la tangente de l'angle d'incidence se rapprochera beaucoup de l'indice de réfraction.

Dans une première approximation, cette différence de phases sera la somme de deux angles dont les tangentes trigonométriques seront

Digitized by Google

les produits qu'on obtient quand on multiplie le sinus d'incidence par la tangente de la somme ou de la différence entre les angles d'incidence et de réfraction, et par un très-petit coëfficient e. M. Cauchy, parvient enfin à déterminer une limite inférieure à l'amplitude des vibrations lumineuses dans le rayon évanescent que propage un milieu correspondant à une valeur positive de e. Il conclut de cette valeur que le rayon évanescent pourra ne pas échapper à l'observation, parce qu'il soutendra un angle plus grand que le diamètre apparent de Sirius !!! Il fait remarquer, en terminant, que si au lieu d'être réduites au premier ordre, les équations des mouvements de l'éther étaient du quatrième et du sixième ordre, sa théorie fournirait de nouveaux rayons réfléchis et réfractés, dont les formules relatives aux lois de la dispersion des couleurs permettraient de fixer aisément les directions et les intensités.

12. — 5 février 1849. *Note sur la détermination simultanée de l'indice de réfraction d'une lame ou plaque transparente, et de l'angle compris entre deux surfaces planes qui terminent cette plaque.* — Les comptes-rendus ne renferment rien de plus; nous croyons savoir que cette note de M. Cauchy ne renferme rien de neuf.

13. — 12 mars 1849. *Sur les rayons réfléchis et réfractés par des lames minces et sur les anneaux colorés.* — Après avoir donné pour la cent-unième fois la définition de l'amplitude et de la phase d'un rayon lumineux, M. Cauchy affirme qu'on pourra en s'appuyant sur les principes établis dans *ses précédents mémoires*, déterminer les accroissements successifs de la phase dus à la propagation du rayon dans l'air et dans une lame transparente, ainsi qu'aux réflexions et aux réfractions qu'il aura subies en rencontrant les deux faces de cette lame, et encore les coëfficients constants par lesquels l'amplitude des vibrations moléculaires devra être successivement multipliée, en vertu de ces réflexions et de ces réfractions, etc. Puis, en superposant au rayon ainsi déterminé les rayons de même nature qui, au sortir de la lame, prendront la même direction, on obtiendra ce que l'on appelle le rayon émergent. Il y a dix ans que nous savons par cœur ces généralités et aussi que pour obtenir d'un seul coup les modifications diverses imprimées à un rayon plan, 1° par sa pro-

Digitized by Google

pagation dans l'air ou dans la lame mince; 2° par les diverses réflexions ou réfractions dues aux faces qui la terminent, il suffit de multiplier le déplacement symbolique et primitif d'une molécule éthérée par divers facteurs ou coëfficients de propagation respectivement proportionnels aux espaces mesurés dans l'air ou dans la lame mince, sur les diverses parties d'un rayon plan, puis par les divers *coëfficients de réflexion* ou de *réfraction* qui correspondent aux diverses rencontres du rayon avec les deux faces de la lame mince. Alors aussi pour obtenir immédiatement le rayon émergent en un point donné de la lame mince, il suffit de recourir à la sommation d'une progression géométrique.

La même méthode s'applique à la détermination des rayons qui émanent d'une couche d'air très-mince comprise entre deux plaques isophanes, dont l'une est transparente; l'autre, transparente ou opaque, par exemple entre deux plaques de verre, ou entre une plaque de verre et une plaque de métal. Elle s'applique enfin, du moins très-approximativement, aux rayons que produit une couche d'air très-mince comprise entre une lentille et un miroir de verre ou de métal, ou entre deux lentilles superposées. C'est, au reste, dit M. Cauchy, ce que j'expliquerai plus en détail dans un nouvel article. Le nouvel article, comme mille autres articles promis, viendra-t-il jamais ?

14. — 26 novembre 1849. *Mouvement par ondes planes.* Les mouvements par ondes planes, mais limitées, dit M. Cauchy, pourront être aisément représentées dans le calcul à l'aide des *coëfficients limitateurs*. Puis reviennent les principes des conditions relatives aux limites des corps, de la continuité du mouvement dans l'éther, les rayons évanescents, etc., ce début obligé de tous les mémoires de M. Cauchy, quand, après un long silence, il revient à la théorie de la lumière. Les ondes correspondantes à ces rayons évanescents sont terminées par des plans perpendiculaires à la surface de séparation et se propagent dans le sens indiqué par une droite perpendiculaire à ces planes, avec la même vîtesse que les ondes incidentes. Quant aux lois de polarisation, elles sont précisément celles indiquées dans les précédents mémoires et confirmées par les expériences de M. Jamin; elles vérifient les asser-

Digitized by Google

tions de Fresnel, qui a eu raison d'affirmer que les vibrations des molécules éthérées comprises dans les plans des ondes, s'exécutent perpendiculairement aux plans de polarisation.

15. — 3 décembre 1849. *Sur les vibrations infiniment petites des systèmes de points matériels.* — M. Cauchy considère, avec M. Bravais, les centres de gravité des molécules des corps cristallisés comme formant un système *réticulaire* divisé en cases ou cellules, par trois systèmes de plans rectangulaires ou obliques, mais parallèles à trois plans fixes, et il établit le théorème suivant.

Dans un milieu homogène et cristallisé, un mouvement vibratoire et infiniment petit de l'éther, représenté par un système d'intégrales à coefficients périodiques, diffère sous un seul rapport, du mouvement qui s'exécute dans le vide, c'est-à-dire, d'un mouvement simple et par ondes planes. La seule différence consiste en ce que les coefficients de l'exponentielle caractéristique dans les valeurs symboliques des diverses inconnues, se réduisent dans le vide à des constantes, et dans un milieu cristallisé, à des fonctions périodiques. Par suite, lorsqu'il s'agit d'un mouvement durable et persistant, la seule différence consiste en ce que les amplitudes et les directions des vibrations atomiques qui, dans le vide, restent les mêmes pour tous les atômes, avec le mode de polarisation, varient dans un milieu cristallisé, quand on passe dans la même cellule d'un atôme à un autre, quoiqu'elles reprennent les mêmes valeurs, quand on passe d'un atôme situé dans une cellule donnée à l'atôme qui, dans l'autre cellule, occupe la même place.

16. — Même date. *Démonstration simple de cette proposition que dans un rayon de lumière polarisé rectilignement, les vibrations sont perpendiculaires au plan de polarisation.* Nous avons déjà inséré cette note à l'occasion de celle présentée par M. Babinet.

17. — 17 décembre 1849. *Sur les vibrations d'un double système de molécules et de l'éther contenu dans un corps cristallisé.* — Après avoir introduit deux notions nouvelles, *les équations auxiliaires et les valeurs moyennes des inconnues*, M. Cauchy affirme que ces notions expliquent à elles seules un grand nombre de phénomènes relatifs aux théories du son et de la lumière; par exemple, les sin-

Digitized by Google

gulières influences des milieux cristallisés sur les vibrations de l'éther. Elles montrent comment il arrive que ces milieux peuvent, tantôt éteindre la lumière, tantôt produire les divers phénomènes lumineux, et, en particulier, la polarisation chromatique. Puis arrive la terminaison ordinaire : C'est, au reste, ce que j'expliquerai plus en détail dans d'autres articles.

18. — 24 décembre 1849. *Sur les systèmes isotropes de points matériels.* — Ce mémoire, purement mathématique, échappe à l'analyse.

19. — *Sur les vibrations d'un double système de molécules et de l'éther contenu dans un corps cristallisé.* — C'est le mémoire analysé n° 17.

20. — 7 janvier 1850. — M. Cauchy présente la suite de ses recherches sur les mouvements vibratoires des systèmes de molécules et la théorie de la lumière. Les principales conséquences de ces recherches, spécialement celles qui se rapportent à la polarisation circulaire et aux phénomènes rotatifs produits par l'huile de térébenthine, l'acide tartrique, etc., *seront développées dans un prochain article!*

21. — 14 janvier 1850. *Sur les perturbations produites dans les mouvements vibratoires d'un système de molécules par l'influence d'un autre système.* — Nous omettons le rappel obligé des grands principes des équations auxiliaires, etc. ; la polarisation elliptique, les mouvements persistants, etc. M. Cauchy arrive au cas où l'éther, mis en vibration, est renfermé dans un autre corps, par exemple, dans un milieu cristallisé. Les éléments du mouvement elliptique ne seront plus les mêmes que dans le cas où l'éther était à l'état d'isolement. Les perturbations produites seront de deux espèces; les unes périodiques, non plus en fonction du temps, mais en fonction des coordonnées d'un atôme. Dans le passage d'un atôme à un autre, deux éléments resteront invariables, si le mouvement est persistant; ce sont la longueur d'une ondulation lumineuse ou l'épaisseur d'une onde plane, et la durée des vibrations. Quant aux perturbations non périodiques, elles altèreront les deux éléments dont il s'agit.

M. Cauchy ajoute une remarque, importante, dit-il, à laquelle nous ne comprenons rien. Il avait tiré du calcul les lois d'un très-grand

Digitized by Google

nombre de phénomènes : propagation des ondes, double réfraction, dispersion des couleurs, diffraction, réflexion, réfraction, etc. et avec assez de bonheur, pour que les prévisions de l'analyse aient été confirmées par l'expérience. Mais, ajoute-t-il, il restait à expliquer quelques autres phénomènes, particulièrement la polarisation chromatique et la dispersion circulaire : or, les principes qu'il vient d'énoncer permettent de rattacher ces phénomènes si remarquables aux actions directes exercées par les molécules des corps sur les atômes de l'éther, et à une distribution particulière de ces atômes déterminée par les mêmes actions, comme il l'expliquera dans un nouvel article. Mais, M. Cauchy, deux fois déjà vous avez apporté à l'Académie la solution du problème de la polarisation chromatique et de la dispersion circulaire! La différence constatée entre la vîtesse théorique du son et la vîtesse déterminée par l'expérience, trouverait son explication dans le nouveau mémoire de M. Cauchy.

22.—21 janvier 1850. *Sur la propagation de la lumière dans les milieux isophanes.* — Encore un long préambule sur les équations auxiliaires, les valeurs moyennes, etc. M. Cauchy constate ensuite, qu'en raison des dimensions insaisissables des molécules lumineuses, l'influence des termes périodiques des équations sera nulle et qu'on pourra la négliger. Il cherche de nouveau ce que deviennent les équations générales dans le cas des milieux isophanes ou isotropes, etc.; puis il ajoute : Pour expliquer la polarisation rotatoire, il n'est pas nécessaire de recourir à certaines hypothèses imaginées par divers auteurs, ou par moi-même, ni d'introduire dans la mécanique moléculaire des forces polarisées, c'est-à-dire variables avec la direction suivant laquelle elles s'exercent, ou des actions ternaires. Il suffit d'admettre qu'un atôme d'éther étant mis en présence d'un atôme d'un corps, ces deux atômes exercent l'un sur l'autre une action proportionnelle à leurs masses et à une fonction de leur distance, puis de joindre à l'hypothèse d'une action binaire entre les atômes de l'éther et du corps, la supposition d'un arrangement spécial de ces derniers atômes, en admettant, par exemple, avec M. Pasteur, que la forme cristalline du corps isophane donné, ne puisse être superposée à son image dans un miroir.

Dans le cas d'un corps isotrope, les nouvelles équations de

Digitized by Google

M. Cauchy se simplifient, coïncident avec celles de M. Von Ettingshausen, et coïncideront par conséquent avec celles de M. Mac-Culagh. Mais qui a dit que les équations de M. Mac-Culagh fussent vraies ?

23. — 4 février 1850. *Sur les vibrations de l'éther dans les milieux qui sont isophanes par rapport à une direction donnée.* — M. Cauchy établit de nouvelles équations générales, puis il ajoute : « Dans un prochain article, je dirai comment ces formules s'appliquent à la détermination des vibrations de l'éther dans les cristaux à un axe optique ! ! ! »

24. — Même date. *Sur la différence de marche entre les deux rayons lumineux qui émanent d'une plaque doublement réfringente à faces parallèles.* — En appelant c l'épaisseur d'une plaque biréfringente, τ l'angle d'incidence, τ' l'angle de réfraction ordinaire, τ'' l'angle de réfraction extraordinaire, δ la différence de marche entre les deux rayons émergents, extraordinaire et ordinaire, M. Cauchy trouve

$$\delta = c\frac{\sin\tau\sin(\tau-\tau'')}{\sin\tau'\sin\tau''}.$$

En appliquant cette formule très-simple au cas où l'on considère une plaque de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe, et appelant δ_0 la valeur de δ correspondant à une valeur nulle de τ, on trouve sensiblement, dans une première approximation,

$$\delta^2 = \delta_0^2\cos^4\tau' + \varepsilon^2\sin^4\tau',$$

ε/c étant la différence entre les indices de réfraction extraordinaire et ordinaire. C'est au reste, dit M. Cauchy, ce que j'expliquerai plus en détail dans un autre article, où je comparerai mes formules à celles de MM. Airy et Mac-Cullagh.

Epiphonème. — Il nous serait impossible d'exprimer le sentiment de tristesse profonde que nous éprouvons en achevant cette analyse des notes et mémoires relatifs à la théorie de la lumière, présentés à l'Académie, de 1845 à 1850, par le plus illustre de nos géomètres. Quel spectacle désolant que de voir cette intelligence si noble, si active, si féconde, s'éparpiller ainsi en mille bluettes insaisissables ; recommencer toujours et n'achever jamais ; prendre un fatal plaisir

Digitized by Google

à allumer partout une soif de Tantale ! etc., etc. Quel nombre énorme de mémoires qui n'aboutissent pas, quelle multitude incommensurable de pages tronquées ! Que de force vive dépensée en vain, que d'argent perdu en impressions mutilées ! Avec cette force vive dépensée et cet argent perdu, M. Cauchy aurait publié dix fois la théorie complète de la lumière ; il aurait élevé à sa gloire et à la gloire de la France un monument splendide et impérissable. N'en doutons pas, en effet, M. Cauchy a réellement résolu, ou est en mesure de résoudre toutes les difficultés qui pouvaient retarder la publication de sa théorie mathématique de la lumière, et même de sa mécanique moléculaire, ensemble admirable qui comprendrait les phénomènes du son, de la lumière, de la chaleur et de l'électricité !

ANALYSE DES MÉMOIRES DE M. LAURENT.

M. Laurent, officier supérieur du génie, a adressé à l'Académie un très-grand nombre de notes et mémoires sur la théorie mécanique de la lumière ; mais il nous serait impossible d'en donner même une idée, soit à cause de leur caractère d'analyse transcendante, soit à cause de la publicité tout à fait incomplète qu'ils ont reçus dans les compte-rendus de l'Académie. Un de ces mémoires a été l'objet d'un rapport de M. Cauchy, nous en rappellerons les conclusions.

« En résumé, dans le mémoire dont nous venons de rendre compte, M. Laurent a donné de nouvelles preuves de la sagacité qu'il avait déjà montrée dans des recherches favorablement accueillies par les géomètres. Nous pensons en conséquence que ce mémoire, comme le précédent, est digne d'être approuvé par l'Académie, et que l'Académie doit engager l'auteur à continuer ses recherches sur ce sujet difficile, abordé par lui avec beaucoup de talent. »

Ce sujet difficile était l'intégration des équations d'équilibre et de mouvement d'un système de sphéroïdes sollicités par des forces d'attraction et de répulsion mutuelle.

Perfectionnements récents apportés à la science des appareils d'acoustique, d'optique et d'astromomie optique, par M. DOPPLER.

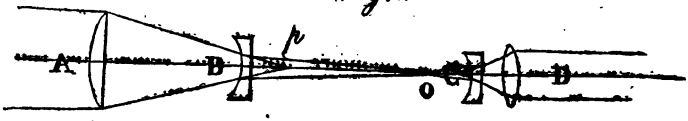
C'est un terrible homme que M. Doppler ! Nous ne connaissons pas d'imagination en apparence plus calme et en réalité plus fou-

Digitized by Google

geuse ; il écrit le roman physique et mathématique avec une facilité phénoménale. Mais cette fécondité a deux inconvénients graves : M. Doppler ne s'occupe pas assez de ce qui a été fait avant lui, et, ce qui est bien plus contristant, il n'arrive point à donner un corps à ses idées, à constater expérimentalement les résultats de ses théories transcendantes, à construire les appareils qu'il décrit, etc. ; tout l'illustre mathématicien de Prague, dans ses excursions aventureuses, approche de l'impossible. Le docteur Bolzano, avec une intrépidité que nous admirons, a analysé un grand nombre des projets de M. Doppler ; nous allons l'imiter, mais plus brièvement encore.

APPAREILS DE PHYSIQUE.—1. Le *diastamomètre optique*. C'est une sorte de lunette à l'aide laquelle on obtient avec une exactitude dans beaucoup de cas plus que suffisante, et au moyen d'une seule visée, la distance d'un objet terrestre qui n'est pas trop éloigné. Son principe, c'est le fait connu que quand l'objet s'éloigne il faut rapprocher l'oculaire pour que l'objet soit vu nettement ; le mécanisme consiste dans une nouvelle disposition des lentilles, fig. 1. L'objectif et l'ocu-

Fig. 1



laire sont remplacés par deux lentilles composées chacune d'un verre convexe et d'un verre concave ; et de plus les lentilles divergentes B et C sont beaucoup plus fortes que les lentilles convergentes ; une échelle placée le long de *op* sur la paroi extérieure du tube, indique la distance de l'objet. A en croire M. Doppler, sa lunette, transformée en microscope, pourrait servir à mesurer les petites profondeurs, les petites inégalités !

2. *Moyen pour rendre sensibles et pour mesurer les mouvements périodiques d'une très-grande vitesse.* Ce moyen consiste à regarder l'objet en mouvement à travers des ouvertures percées dans un disque qui tourne avec la même vitesse : si la durée de la rotation est plus courte que 0,35 secondes, l'objet paraît en repos, avec la

Digitized by Google

forme et la couleur qui lui est propre. La découverte de ce moyen appartient à M. Plateau qui la réclame avec raison; nous avons, dans notre second volume, analysé le beau mémoire qui assure sa priorité. M. Doppler conseille de fixer le disque à la roue dentée de la sirène de M. Cagnard-Latour : le son produit attesterait l'uniformité de la rotation, et l'appareil compteur donnerait le nombre de tours. Malheureusement l'emploi de la sirène est bien difficile, et on a été forcé d'y renoncer, même pour déterminer le nombre de vibrations correspondant à un son donné. M. Doppler encore, et cette idée lui appartient, propose de remplacer la lumière continue par une lumière intermittente, en faisant tourner le disque entre la lumière et l'objet, qui ne serait plus éclairé que par la lumière qui passe entre les ouvertures.

3. *Poli des miroirs.* Il ne faut pas presser le polisseur ni lui imprimer un mouvement trop rapide, sans cela la poudre polissante ferait l'effet d'une lime; le polisseur doit être formé de la même substance que le corps à polir, verre avec verre, métal avec métal. Le polisseur doit agir dans une direction oblique et non normale; chaque portion d'une courbure différente doit être en contact avec une nouvelle portion du polisseur; il faut soulever celui-ci de temps en temps, et faire en sorte qu'il ne présente au corps à polir qu'une seule espèce de pointes. Quand le miroir est elliptique ou parabolique, ce n'est pas la portion du sommet qu'il faut utiliser dans l'appareil catadioptrique, mais la portion de surface courbe comprise entre les deux axes. M. Doppler indique les proportions d'un nouvel alliage, et recommande de le fondre en couches minces, dans une forme en fer de masse considérable. Il vaut mieux ne se servir que d'un seul miroir, placé de manière que les rayons tombent sous l'incidence de 45 degrés, et que les rayons réfléchis fassent un angle droit avec les rayons incidents. La lumière est ainsi moins affaiblie, la netteté est plus grande, il n'y a plus d'aberration de sphéricité. Vient ensuite la description d'un microscope colossal qu'il conviendrait d'établir dans un bâtiment de 80 pieds de long à deux étages; au premier étage, on placerait le miroir à 45° avec une distance focale de six mètres; la lumière solaire ou électrique renvoyée par les objets placés au rez-de-chaussée, arriverait au miroir à travers un trou

Digitized by Google

percé dans le parquet, celui-ci la réfléchirait dans un corridor sombre à l'extrémité duquel on la recevrait sur un oculaire : on obtiendrait ainsi des grossissements linéaires de vingt mille fois.

4. *Appareil servant à mesurer exactement les moindres déviations du rayon lumineux.* Sa construction repose sur l'observation bien simple que lorsqu'un rayon lumineux QM, fig. 2 tombe sur une surface cylindrique, la nouvelle direction Mm du rayon réfléchi fait avec une direction donnée QT un angle beaucoup plus grand que l'angle de déviation primitif TQM. Dans des conditions choisies, angle de déviation peut ainsi être augmenté dans le rapport de 1

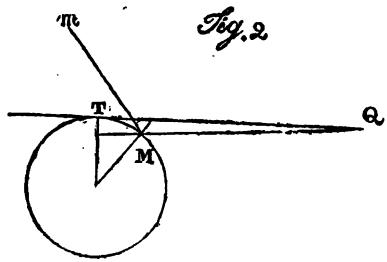


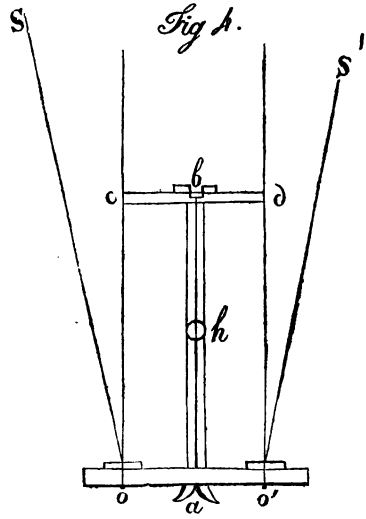
Fig. 2

129400. En employant deux cylindres, l'augmentation peut atteindre 22 millions. M. Doppler propose d'employer deux cylindres d'un pouce de diamètre, qui se mouveront dans deux rainures, dont l'une est perpendiculaire et l'autre sensiblement parallèle au rayon dont on veut mesurer la déviation.

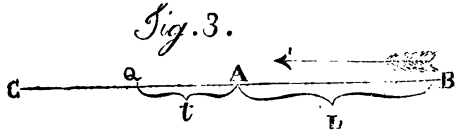
5. *Photomètre.* Cet appareil est représenté fig. 4. *ab,* est une plaque noire dépolie, de 8 à 12 pouces de longueur sur 8 pouces de largeur, avec une cloison transversale en *b*, dont la largeur variable *cd* peut être diminuée jusqu'à ce que l'observateur qui tient l'instrument fixé par une poignée fixée en *h* et qui place son nez dans le petit espace creusé en forme de selle, aperçoive des deux yeux un objet éloigné. En *o* en *o'* se trouvent deux loupes ou deux lunettes de grossissements aussi égaux que possible. Pour mesurer l'intensité relative de deux objets vus à la fois, l'un de l'œil droit, l'autre de l'œil gauche ; on fait varier les ouvertures jusqu'à ce que les deux objets produisent la même impression sur l'œil. Des largeurs mesurées et connues des ouvertures on conclut le

Digitized by Google

rapport des intensités. Cet instrument ne nous inspire pas beaucoup de confiance. A-t-il été exécuté ?



ACOUSTIQUE OPTIQUE et THÉORIE GÉNÉRALE DES ONDULATIONS. — 1. *Méthode pour déterminer la vitesse des ondulations des molecules d'air dans le son.* Une locomotive L se meut dans une direction rectiligne de B vers C, en passant par A fig. 3. A l'endroit A où la machine a déjà atteint une vitesse régulière v, se trouve un obser-



vateur qui note à quel endroit Q le son d'un instrument porté sur la machine, produit sur l'oreille la même impression que ce même son donné par un second instrument fixe placé en A. En désignant par v la vitesse maximum de la molécule sonore, par L et par l les distances A B et A Q on aura $v = \frac{L}{L - l}$.

2. M. Doppler a le premier énoncé ce théorème : tout rayon pro-

Digitized by Google

duit par un mouvement ondulatoire qui pénètre dans un milieu en rotation, subit pendant le temps de son passage à travers ce milieu, en outre de la réfraction ordinaire qui a lieu à son entrée et à sa sortie, une déviation particulière, la *déviation rotatoire*, qui est d'autant plus considérable que le mouvement rotatoire du milieu est plus grand, que le chemin parcouru dans ce milieu est plus long, et que la vitesse de propagation du rayon est plus petite. Si le rayon en question est un rayon composé, comme le rayon lumineux, la déviation rotatoire aura pour effet la dispersion des rayons composants. Cette déviation peut arriver à produire soit une réflexion du rayon sur lui-même, soit une dispersion dans toutes les directions, etc. : des rayons parallèles peuvent ainsi devenir divergents, et donner naissance à de nouveaux phénomènes d'interférence. M. Doppler indique un moyen peu praticable, nous le craignons, de s'assurer par le passage d'un rayon à travers des cylindres de verre en mouvement, si, comme le veut la théorie des ondulations, les vitesses d'ondulation des rayons diversement colorés sont inégales.

Si la surface sur laquelle tombe un rayon lumineux est en mouvement, ou si deux milieux que ce rayon traversera successivement sont doués de mouvement de rotation, n'est-il pas probable que dans l'acte de la réflexion ou de la réfraction, on verra apparaître des phénomènes nouveaux de déviation ou de variation d'intensité ?

Passant au son, M. Doppler croit pouvoir affirmer qu'un rayon sonore sortant d'une couche d'air en repos pour pénétrer normalement dans une couche en mouvement, prendra une direction oblique donnée par la résultante de la vitesse d'ondulation de la molécule sonore et de la vitesse du second milieu : il en sera de même dans le cas de la réflexion sur une surface en mouvement.

Vision. Tout objet, dit M. Doppler, dont l'image sur la rétine devient si petite qu'elle n'occupe qu'une seule de ses papilles, nous apparaît simple, sans parties, sans forme, sans limites. Pour établir cette proposition extraordinaire, il énonce ces deux faits : 1° que le plus petit angle sous lequel notre œil aperçoit un objet est d'environ 40 secondes, 2° que chaque papille nerveuse de la rétine est environ d'un 8 millième de pouce. Partant de là, M. Doppler veut que la plaque iodée de Daguerre soit plus sensible que l'œil humain : car, dit-il, le diamètre des globules de mercure précipités par l'action

Digitized by Google

de la lumière est beaucoup plus petit que celui des papilles nerveuses de la rétine. Il est certain, ajoute-t-il, que l'on pourra obtenir avec le daguerréotype les images d'objets invisibles pour l'œil et que l'on observera ensuite à l'aide du microscope gigantesque : c'est une illusion inoffensive.

M. Doppler veut aussi qu'en mesurant avec son photomètre l'intensité de la lumière d'une étoile dans deux circonstances ; alors que placée sensiblement à la même distance de l'astre, la terre s'en éloigne ou s'en approche, on puisse estimer la vitesse d'ondulation des molécules éthérées. C'est une autre illusion bien plus difficile à excuser.

ASTRONOMIE OPTIQUE. — L'étude de la déviation rotatoire doit conduire en astronomie à des résultats nouveaux. 1° L'occultation des étoiles fixes par les planètes, par Jupiter surtout, doit être accompagnée d'une déviation de rayons lumineux égale à 28″ et qui, si elle était observée, donnerait le moyen de mesurer le diamètre de l'atmosphère de Jupiter et la vitesse de sa rotation. 2° Cette même déviation rotatoire doit dans les éclipses des quatre satellites de Jupiter produire un retard d'une demi-minute sur le moment de la disparition ou de la réapparition. 3° En observant deux étoiles dont tantôt une seule, tantôt toutes deux sont vues à travers la lumière zodiacale, on saura si cette lumière est ou non une partie de l'atmosphère solaire. 4° La déviation rotatoire, observée à travers les queues des comètes et les nébuleuses, indiquera si ces matières si ténues sont douées d'un mouvement de rotation. 5° En comparant les déviations rotatoires à l'horizon et au zénith, on arriverait à apprécier la hauteur de l'atmosphère. 6° Cette déviation serait-elle la cause de l'aberration ? 7° En admettant que les grandes différences de l'éclat lumineux des étoiles fixes dépendent uniquement de leur distance et de leur grandeur, et nullement d'une différence essentielle dans l'origine et la production de leur lumière ; et comparant entre elles, au moyen du photomètre, des étoiles dont les angles visuels soient plus petits que 40″, on arrivera à connaître les rapports de leurs angles visuels et même à les évaluer en arcs. 8° On pourrait de même déterminer les rapports des des distances à la terre des différentes étoiles en ajoutant à l'angle visuel une seconde considération, l'affaiblissement de la lumière par

Digitized by Google

l'absorption dans les espaces célestes, affaiblissement que l'on pourrait évaluer approximativement, si, comme M. Doppler l'a rêvé, on pouvait mesurer l'angle visuel d'une étoile par l'observation de son image sur la plaque daguerrienne. Alors aussi, on pourrait calculer les vitesses d'ondulation des molécules lumineuses mises en vibration par l'étoile, soit à la surface de la terre, soit à la distance de l'étoile.

Voilà, il nous semble, ce qu'il y a de plus digne d'attention dans les Mémoires de M. Doppler. Quelle imagination! quelle puissance d'invention! quelle confiante crédulité! Nous faisons des vœux ardents pour qu'une observation positive vienne confirmer quelqu'une de ces audacieuses hypothèses.

ABERRATION DE LA LUMIÈRE.

Nous avons classé dans notre second volume l'*aberration de la lumière* parmi les phénomènes encore enveloppés de ténèbres ou dont la science n'a pas donné la théorie complète: or, nous sommes désolé d'avoir à dire à nos lecteurs que les recherches des Doppler, des Stokes, des Challis, des Powell récemment publiées n'ont ni soulevé le voile ou dissipé les nuages, ni ajouté quelque chose d'essentiel à ce que nous avons dit.

L'explication générale des phénomènes de l'aberration est si simple, et l'accord de la valeur de la vitesse de la lumière déduite de l'aberration avec la valeur de cette même vitesse conclue des éclipses des satellites de Jupiter est si frappant qu'il ne peut rester dans l'esprit aucun doute sur la vérité de cette explication. Mais lorsque l'on examine plus attentivement la cause de ce phénomène, il apparaît bientôt beaucoup moins simple qu'on ne l'aurait cru d'abord. Dans la théorie de l'émission, la difficulté n'est pas grande; mais il n'en est pas ainsi dans la théorie des ondulations. Cette dernière théorie, cependant, explique si simplement, si brillamment les phénomènes les plus compliqués de la lumière, qu'il est plus sage jusqu'à nouvel ordre de dire, non que l'aberration est un phénomène incompatible avec le système des ondulations, mais que c'est un phénomène inexpliqué.

Digitized by Google

Le premier travail sur l'aberration est sorti de la plume un peu ténébreuse de M. Doppler. Il énumère et réfute toutes les explications données jusqu'ici de l'aberration.

1re *Explication*, celle de Bradley : L'aberration s'explique par le choc des molécules lumineuses arrivant avec une certaine vitesse à l'œil de l'observateur également en mouvement. Elle suppose la théorie de l'émission.

2e *Explication*. L'aberration ne serait qu'une illusion optique. Si l'observateur avance, la neige qui tombe semble venir au-devant de lui ; elle semble le fuir, s'il recule. Ne pourrait-on pas étendre aux rayons lumineux l'effet produit par les flocons de neige ? Non, dit M. Doppler, et il a raison. Pourquoi ? C'est, dit-il, que l'œil ne voit pas les molécules lumineuses elles-mêmes, il ne sent que l'impression de leur mouvement.

3e *Explication*. Par cela même que la lunette avec laquelle on regarde l'étoile est entraînée par la terre dans son mouvement, on est obligé de l'incliner d'un certain angle pour que les ondes efficaces ne soient pas éteintes par l'action des parois. C'est ainsi que les trous percés dans les parois parallèles d'un navire ne sont pas en ligne droite sur la direction de la ligne suivie par le boulet. Suivant M. Doppler, cette interprétation supposerait que l'éther pénètre librement la terre sans pénétrer l'œil de l'homme et des animaux. Nous avions pensé, et nous l'avons dit ailleurs, qu'il suffit que la terre emporte dans l'espace son atmosphère éthérée comme elle emporte son atmosphère aérienne.

4e *Explication* purement mécanique : combinaison du mouvement de la terre avec le mouvement de propagation de la lumière. Elle supposerait que la propagation des ondes lumineuses a lieu dans un éther qui ne participe pas au mouvement de rotation de la terre. Il nous semble que non : la terre n'emporte pas dans son mouvement tout l'éther, mais une portion qui constitue son atmosphère éthérée.

5e *Explication*. Explication physiologique de M. Doppler. Sur chaque rétine il y a un point plus sensible à l'action de la lumière : or, si l'œil est en mouvement, il devra, pour recevoir l'impression de la lumière de l'étoile, tourner d'une certaine quantité angulaire qui sera l'angle d'aberration. La difficulté, suivant M. Doppler, c'est que l'éther devrait traverser librement l'œil. Pourquoi pas ? 2° L'aberra-

Digitized by Google

tion ainsi expliquée aurait une valeur double de ce qu'elle est en elle-même ; cette différence relative serait plutôt une confirmation qu'une objection. 3° Il faudrait admettre que la direction d'oscillation des molécules lumineuses ne serait liée en aucune manière avec la direction de propagation du rayon lumineux ; nous ne voyons pas pourquoi.

De cette discussion, M. Doppler serait tenté de conclure que le phénomène de l'aberration est incompatible avec la théorie des ondulations. C'est bien téméraire. Voici ses raisons. A l'entrée d'un système d'ondes planes qui sort de l'éther en repos, pour pénétrer dans l'éther en mouvement, le parallélisme des ondes n'est pas détruit, la lumière tombe perpendiculairement ou obliquement à la surface de séparation des milieux. M. Radicke lui répond dans le dernier volume des *Fortschritte* que cette objection n'est pas solide, car 1° il est certain que les ondes planes restent parallèles quand le mouvement lumineux rencontre l'atmosphère éthérée dans la direction du mouvement de la terre. 2° Alors même que le parallélisme existerait pour deux directions des rayons lumineux, il ne pourrait subsister dans les directions intermédiaires qu'en vertu d'hypothèses particulières que rien ne force d'admettre. 3° Du fait admis du parallélisme des ondes, il ne résulte pas que le rayon qui pénètre l'atmosphère éthérée conserve la même direction, c'est dans la théorie de la double réfraction un premier principe, et nous n'y insisterons pas.

M. Stokes a publié dans le *Philosophical Magazine*, tome 27, des recherches mathématiques sur l'aberration de la lumière, en partant des données suivantes. Il suppose que la terre et les planètes entraînent avec elles une portion de l'atmosphère éthérée, de sorte que l'éther à leurs surfaces est en repos par rapport à ces surfaces, tandis que la vitesse de cet éther augmente à mesure qu'on s'éloigne de ces surfaces, jusqu'à ce que, au delà d'une distance qui n'est pas très-grande, l'éther dans l'espace soit aussi en repos. Partant de cette supposition, M. Stokes établit les équations du mouvement du rayon lumineux, les intègre en admettant qu'un certain trinôme est une différentielle exacte, et arrive enfin aux valeurs des déplacements.

Voici ses conclusions conformes aux résultats des observations. 1° L'étoile paraîtra déplacée suivant la direction du mouvement de la terre d'une quantité angulaire représentée par le rapport de la vi-

Digitized by Google

tesse de la terre à la vitesse de la lumière, multipliés par le sinus de l'angle compris entre la direction du mouvement terrestre et la ligne qui joint l'étoile à la terre. 2° La planète paraîtra déplacée de la position qu'elle avait, quand la lumière l'a abandonnée, absolument comme est déplacée une étoile située dans la même direction. Mais de plus la planète a subi un déplacement particulier identique avec celui mesuré par les astronomes.

M. Stokes a rencontré dans M. Challis un rival et un adversaire redoutable qui l'a entraîné dans une discussion longue et vive où nous ne trouvons que peu à puiser. Pour mettre fin à cette dispute mémorable, M. Baden-Powell est entré dans la lice et s'est efforcé de prouver que la théorie de M. Challis ne différait qu'en apparence des explications antérieures.

« Dans l'opinion émise par M. Challis, dit-il, le phénomène de l'aberration est une conséquence rigoureuse de ces deux données fondamentales : la propagation rectiligne de la lumière et le rapport de la vitesse de la terre à la vitesse de la lumière. Or, toute théorie de la lumière qui n'admettrait pas que le mouvement de la terre n'empêche pas la lumière de se propager en ligne droite serait par là même fausse et devrait être rejetée. »

M. Radicke termine son analyse par cette réflexion plus juste encore. « Toute théorie de la lumière d'après laquelle la direction des mouvements lumineux ne serait point affectée et modifiée par le mouvement de la terre, serait certainement fausse et inadmissible. » Rien donc de plus naturel au fond que l'aberration.

M. Challis, en poursuivant son analyse, aurait fait faire un pas à cette difficile question, s'il ne s'était pas appuyé de considérations hypothétiques. Il aurait trouvé que la valeur de l'aberration obtenue par lui est indépendante du mouvement imprimé à l'éther dans les limites de la sphère d'action de la terre. Nous avions depuis longtemps cette pensée, qui simplifie les phénomènes.

Dans un second mémoire sur la théorie de l'aberration, M. Stokes discute l'opinion de Fresnel et de M. Cauchy, relative à l'influence du mouvement de la terre sur l'éther, et en vertu de laquelle une portion seulement de l'éther partagerait le mouvement de la terre, tandis que l'autre resterait indépendante de ce mouvement.

Digitized by Google

En supposant la force élastique de l'éther constante dans les divers milieux, sa densité dans le milieu dont l'indice de réfraction est n, serait égale à n^2, en prenant pour unité la densité dans l'espace vide. Dans le milieu, que nous supposerons être l'atmosphère terrestre, les masses d'éther en repos et en mouvement seraient entre elles comme $n^2 - 1$ est à 1. M. Stokes démontre mathématiquement que cette hypothèse, n'est aucunement en contradiction avec l'expérience qui prouve de son côté que les phénomènes de la réflexion et de la réfraction dans les milieux réfringents, sont indépendants du mouvement de la terre : cet accord, cependant ne suffit pas à rendre certaine l'hypothèse de Fresnel.

M. Stokes en terminant revient à l'expérience négative de M. Babinet, expérience d'après laquelle les bandes d'interférences produites par deux faisceaux lumineux ne se déplacent pas quand l'un des faisceaux lumineux traverse la lame transparente dans le sens du mouvement de la terre et l'autre en sens contraire. M. Babinet a toujours pensé que cette expérience était incompatible avec la théorie de Fresnel et avec l'expérience analogue de M. Arago sur la réfraction, M. Stokes prouve que cette opinion de M. Babinet n'est nullement fondée et que l'effet négatif du mouvement de la terre sur les interférences et la réfraction ne contredit nullement les idées de l'illustre fondateur de la théorie des ondulations.

Nous n'avons pu prendre sur nous de laisser dans notre répertoire une lacune qu'on aurait peut-être remarquée; voilà pourquoi nous avons essayé de donner une idée des recherches relatives à l'aberration: mais nous avouons naïvement qu'elles ne nous satisfont aucunement, et même que nous ne les comprenons pas très-bien. Quand donc viendra le jour où M. Cauchy, qui le pourrait si facilement, nous donnera la théorie complète de ce phénomène si simple en apparence, si complexe en réalité ?

AURORE POLAIRE.

Nous avons aussi classé ce phénomène parmi les mystères de la science, et nous l'avons attribué au magnétisme terrestre. Une lettre de M. Auguste de la Rive à M. Regnault jette quelque jour sur cette question, et nous en citerons un fragment. L'illustre physicien de Genève a démontré expérimentalement que sous l'influence d'un

Digitized by Google

barreau de fer aimanté, la lumière de l'œuf électrique s'arrondit autour du barreau en anneau lumineux très-régulier ; que cet anneau et les jets lumineux qui en émanent ont un mouvement de rotation continue, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant la direction des charges électriques et le sens de l'aimantation ; qu'enfin les jets les plus brillants semblent partir de cette circonférence lumineuse, sans se confondre avec ceux qui aboutissent à l'anneau et forment la gerbe. « Cette belle expérience, ajoute M. de la Rive, me paraît rendre compte, d'une manière très-satisfaisante, de ce qui se passe dans le phénomène de l'aurore boréale. En effet, la lumière, qui résulte de la réunion des deux électricités dans la partie de l'atmosphère qui recouvre les rayons polaires, au lieu de rester vaguement distribuée, se trouve portée par l'action du magnétisme terrestre autour du pôle magnétique du globe ; d'où elle semble s'élever en une colonne tournoyante dont il est la base. On comprend ainsi pourquoi le pôle magnétique est toujours le centre apparent d'où part la lumière qui constitue l'aurore boréale, ou vers lequel cette lumière semble converger. » Nous n'entrerons pas dans plus de détails.

ADDITIONS.

Sur la polarisation chromatique produite par les lames épaisses cristallisées ; par MM. H. FIZEAU et L. FOUCAULT.

Nous avons pu nous procurer enfin le manuscrit du second mémoire de MM. Fizeau et Foucault, et nous tenons absolument à en donner une idée plus complète. C'est une étude de l'état de polarisation du rayon lumineux après son passage à travers la lame épaisse cristallisée, alors qu'il est constitué par la superposition des rayons ordinaire et extraordinaire. On place sur le trajet du rayon, d'abord un prisme de Nicol, puis une lame réfringente dont l'axe soit convenablement incliné, un écran percé d'une fente, le prisme qui doit donner naissance au spectre, et enfin l'analyseur. Pour détruire l'action polarisante du prisme, on fait réfléchir le rayon sur une petite glace convenablement inclinée.

Vus à l'œil, tous ces spectres ne diffèrent en rien des spectres ordinaires, les raies de Fraunhofer s'y distinguent très-nettement ;

Digitized by Google

mais si on place au-devant de l'œil un analyseur, on reconnaît que les divers rayons simples, sont dans des états de polarisation différents, et que le même état de polarisation se reproduit périodiquement dans la longueur du spectre, un nombre de fois d'autant plus grand, que son épaisseur est plus grande. La production périodique du même état de polarisation dans la longueur du spectre suit les mêmes lois que la reproduction périodique des raies d'interférence étudiées dans le premier mémoire; ces phénomènes en effet, ont la même cause; la différence de marche des rayons ordinaire et extraordinaire, suite de leur inégale vitesse.

Le plus intéressant des spectres polarisés chromatiquement est celui produit dans le cas où la section principale de la lame est à 45°. En supposant que la réfraction qui donne naissance au spectre est produite dans un plan perpendiculaire au plan primitif de polarisation; la direction de ce plan sera donné par la direction même des lignes fixes. En l'analysant au moyen d'un prisme de Nicol, on reconnaît que certains rayons simples sont complètement polarisés les uns dans le plan primitif de polarisation, les autres dans un plan rectangulaire. Les points intermédiaires présentent, les uns l'apparence d'une polarisation partielle; les autres, celle d'une dépolarisation complète. L'analyse ordinaire ne suffit pas à déterminer l'état de polarisation réelle de ces points; il faut recourir au parallélipipède de Fresnel, que l'on place devant le prisme de Nicol, et faire mouvoir, dans les divers azimuts, tantôt le prisme, tantôt le parallélipipède. On voit alors que dans les points intermédiaires, la lumière est polarisée, tantôt circulairement, tantôt elliptiquement. Ainsi donc, le mouvement lumineux dans le spectre chromatiquement polarisé, est tantôt rectiligne, tantôt elliptique ou circulaire de droite à gauche, tantôt elliptique ou circulaire de gauche à droite, ainsi que la théorie de Fresnel l'indiquait très-nettement. L'accord est absolument parfait; et cette distribution, très-simple, se reproduit périodiquement dans tous les intervalles du spectre, ce qui était encore une conséquence immédiate de la théorie. Le nombre des intervalles croît indéfiniment avec l'épaisseur de la lame : M. Foucault en a constaté jusqu'à 600. On avait alors un spectre dans lequel 1,200 rayons simples étaient polarisés rectilignement et alternativement dans le plan primitif et dans le

Digitized by Google

plan rectangulaire : un même nombre de rayons présentaient la polarisation circulaire alternativement de droite à gauche et de gauche à droite ; le reste enfin était polarisé elliptiquement de la manière la plus variée. Si la plaque cristallisée n'est pas inclinée de 45°, les plans de polarisation, au lieu d'être horizontaux ou verticaux, sont obliques, il n'y a plus de polarisation circulaire, tous les rayons intermédiaires possèdent la polarisation elliptique, et les axes des ellipses ne sont plus parallèles.

Dans le cas où la lame est une plaque de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe, on reconnaît, à l'aide du prisme de Nicol, que tous les rayons simples qui composent le spectre, sont polarisés rectilignement et dans des plans diversement inclinés sur le plan primitif ; et, à l'inclinaison, on reconnaît si le cristal tourne à droite ou à gauche.

Le parallélipipède à réflexion totale modifie, d'une manière remarquable, la polarisation chromatique. Dans le cas où la section principale du cristal est à 45°, et que le plan des réflexions totales est parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation, le plan de polarisation du rayon tourne vers la droite ou vers la gauche. Si, en ajoutant un second parallélipipède, on produit quatre réflexions totales, le phénomène rotatoire disparaît. S'il s'agit d'une lame de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, et que le plan de réflexion totale soit parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation, les phénomènes rotatoires disparaissent encore ; et sont remplacés par ceux que présenterait une lame cristallisée, dont la section principale serait à 45° à droite ou à gauche du plan primitif. Par l'addition d'un second parallélipipède, les phénomènes rotatoires ne disparaissent plus, mais le sens de la rotation est interverti.

Terminons en faisant remarquer une fois encore que les recherches expérimentales de MM. Fizeau et Foucault sont une confirmation évidente de la théorie des ondulations.

VITESSE DE LA LUMIÈRE.

Expérience mémorable de M. Léon Foucault.

M. Léon Foucault est enfin parvenu à réaliser l'expérience con-

Digitized by Google

que par M. Arago, et qui devait montrer que la lumière se meut plus vite dans les milieux moins denses.

On opère avec la lumière solaire. Un faisceau, réfléchi horizontalement par un héliostat pénétrant par une ouverture carrée de deux millimètres de côté, traverse presque aussitôt un réseau formé de onze fils verticaux de platine par millimètre ; de là il se dirige vers une excellente lunette achromatique à long foyer placé à une distance du réseau moindre que le double de la distance focale principale ; l'image de ce premier réseau tend à se former au delà sous des dimensions plus ou moins amplifiées ; mais après avoir traversé la lentille, le rayon tombe sur le miroir tournant, et entraîné d'un mouvement angulaire double de celui du miroir, il forme, dans l'espace, une image du réseau qui se déplace avec une grande rapidité. Dans une portion limitée de son trajet circulaire, cette image rencontre la surface d'un miroir concave ayant son centre de courbure sur le centre de figure et sur l'axe de rotation du miroir tournant, et pendant tout le temps qu'elle se promène à la surface, la lumière qui concourt à la former, rebrousse chemin, et vient retomber sur le réseau lui-même en une image d'égale grandeur. Pour observer cette image, sans masquer le faisceau d'origine, on place obliquement sur ce faisceau, auprès du réseau entre lui et la lentille objective, une glace parallèle, soit épaisse, soit mince, et l'on observe avec un puissant oculaire les images déjetées sur le côté. Quand la glace est épaisse, les deux images sont plus ou moins complètement séparées ; quand la glace est mince, elles se recouvrent en grande partie et l'on choisit pour l'inclinaison de la glace sur le faisceau, un angle tel qu'il y ait superposition des lignes noires équidistantes dont elles sont sillonnées : par ce moyen, l'on utilise les réflexions aux deux surfaces. Le miroir, en tournant, fait reparaître cette image à chaque révolution, et si la vitesse du mouvement de rotation est uniforme, l'image est immobile dans l'espace. Au delà de trente tours, il y a persistance des impressions dans l'œil.

Le miroir, en tournant de plus en plus rapidement, doit déplacer l'image en retour, comme si elle était entraînée dans le sens du mouvement ; mais ce déplacement ne devient sensible et observable, que quand le miroir tourne assez vite. M. Foucault est

Digitized by Google

parvenu à saisir, sans équivoque, un déplacement d'un centième de millimètre. Avec six ou huit cents tours au plus, le déplacement pourra être de deux ou trois dixièmes de millimètre : il a suffi pour le constater, quand le rayon lumineux avait parcouru dans l'air un espace de quatre mètres, de vingt-cinq à trente tours par seconde.

Pour apprécier le déplacement produit par le trajet dans l'eau, on interpose, entre le miroir tournant et le miroir concave, une colonne de ce liquide maintenu dans un tube métallique entre deux glaces à faces parallèles : l'image du réseau, quoique un peu plus faible, est aussi distincte que celle qui se formait sans l'interposition de l'eau.

Il suffisait donc de faire tourner le miroir et de mesurer avec précision sa vitesse de rotation pour déduire de l'expérience les vitesses absolues de la lumière dans l'air et dans l'eau. En opérant simultanément sur ces deux milieux par l'adjonction de deux miroirs concaves, on pouvait reconnaître le sens de la différence de ces deux vitesses.

Nous ne décrirons pas en détail le moyen employé par M. Foucault, pour faire tourner le miroir et mesurer sa vitesse de rotation : il se servait pour cela d'une petite machine à vapeur ; l'axe du miroir, en tournant, rendait un son formant des battements avec le son d'un diapason étalonné ; le ton de ce son indiquait assez approximativement la vitesse de rotation ou le nombre de tours par seconde.

Il a ainsi constaté par deux observations successives que *la déviation de l'image après le parcours de la lumière dans l'air est moindre qu'après son parcours dans l'eau.* Il a fait ensuite une autre expérience confirmative, qui consistait à observer l'image formée en partie par la lumière qui a traversé l'air et en partie par la lumière qui a traversé l'eau. Pour des vitesses faibles du miroir tournant, les rayures verticales de l'image étaient sensiblement continues : par l'accélération du mouvement de rotation, l'image s'est transportée et les rayures se sont rompues à la ligne horizontale de jonction de l'image aérienne et de l'image aqueuse, celle-ci prenant l'avance dans le sens de la déviation générale. De plus, en tenant compte des longueurs d'air et d'eau traversées, les déviations s

Digitized by Google

sont montrées sensiblement proportionnelles aux indices de réfraction. Ces résultats accusent *une vitesse de la lumière moindre dans l'eau que dans l'air* et confirment pleinement la théorie des ondulations.

M. Foucault décrit ensuite le complément à donner à son appareil optique pour le rendre applicable à des distances indéfiniment croissantes, pour arriver à régulariser la marche du miroir et mesurer la vitesse de rotation.

Il termine enfin en annonçant que la même méthode fournit le moyen de mesurer approximativement la vitesse de propagation du mouvement calorifique ; il peut déjà même affirmer que cette vitesse est la même que celle du mouvement lumineux.

Voilà certes un grand et heureux évènement, une brillante et utile expérience. Rendons seulement à chacun ce qui lui est dû. L'idée et l'application du miroir tournant appartiennent à M. Wheatstone ; et M. Arago a le premier conçu, ou du moins publié l'idée de cette grande expérience, la disposition des appareils, les conditions de succès, etc., etc. Secondé par M. Bréguet, il était à la veille de réussir quand l'affaiblissement de sa vue lui a rendu ces observations impossibles. M. Fizeau a fait usage de la glace inclinée à faces parallèles dans les expériences par lesquelles il a mesuré la vitesse de la lumière. La substitution moins avantageuse peut-être du miroir fixe à la seconde lunette de M. Fizeau, et l'emploi si ingénieux des micromètres dont les images en se superposant permettent de mesurer les déviations, reviennent à M. Foucault.

MM. Fizeau et Bréguet qui n'attendaient, disent-ils, pour entreprendre les mêmes expériences, que de se voir autorisés par M. Arago, annoncent que leurs appareils sont prêts, et qu'après le premier beau jour ils apporteront à l'Académie les résultats de leurs recherches.

Sur quelques phénomènes de polarisation en rapport avec les réseaux, par sir DAVID BREWSTER.

L'illustre physicien écossais a décrit en 1830, dans les transactions philosophiques, une nouvelle espèce de franges ou bandes produites par les surfaces rayées, quand les intervalles des stries sont

Digitized by Google

excessivement petits : ces bandes sont perpendiculaires aux spectres des réseaux si bien expliquées par M. Babinet ; et c'est dans leur lumière que sont produits les phénomènes nouveaux que nous allons décrire.

Les bandes transverses sont visibles seulement lorsque sur la surface rayée les stries sont assez rapprochées pour qu'il y en ait de 2,500 à 10,000 par pouce anglais, et alors seulement apparaissent les symptômes de polarisation. Un rayon de lumière naturelle réfléchi sur la surface de 10,000 stries par pouce reste blanc sous l'incidence rasante, et se colore en bleu-verdâtre sous l'incidence perpendiculaire. Sous une inclinaison d'environ 30 degrés, le rayon est réfléchi en pourpre, et sa couleur reste la même, quel que soit l'azimut du plan d'incidence. Quand ce plan est perpendiculaire aux stries, le rayon réfléchi est composé de deux faisceaux : l'un rouge polarisé dans le plan de réflexion, et l'autre bleu polarisé perpendiculairement à ce plan. Pour des inclinaisons supérieures ou inférieures à 30 degrés, la polarisation des rayons est moins sensible.

Lorsque le plan d'incidence forme un angle avec le plan perpendiculaire à la direction des stries, les pinceaux rouge et bleu ne sont plus polarisés dans le plan d'incidence et pendiculairement à ce plan. Quand enfin le plan d'incidence est parallèle aux stries, le pinceau rouge est polarisé perpendiculairement, le pinceau bleu parallèlement à ce plan.

En résumé sur une surface très-étroite de métal ou de toute autre substance, telle que celle qui est comprise entre deux stries très-rapprochées, il est des angles d'incidence sous lesquels un rayon de lumière homogène n'est pas réfléchi. Le nombre de ces angles d'incidence augmente avec la petitesse de la surface ; et à surface égale, il est plus petit pour les rayons bleus, plus grand pour les rouges. La polarisation des rayons réfléchis est déterminée par la direction des stries.

Suivant sa constante habitude, sir David Brewster voit dans ces phénomènes un nouveau genre de polarisation qu'il croit inexplicable dans la théorie des ondulations. Sans vouloir rendre raison des bandes lumineuses transverses qu'il n'a pas vues, M. Babinet explique très-naturellement les disparitions sous certaines inclinaisons, par les principes les plus élémentaires des interférences : il

Digitized by Google

rapproche ces faits du phénomène connu de la disparition de certains spectres des réseaux, suivant la loi formulée par Fraunhofer et qui s'énonce comme il suit : si l'une des raies obscures ou transparentes est la $n^{ième}$ partie de la somme des largeurs des deux raies, le spectre de l'ordre n disparaît.

Sur une modification de la double réfraction et de la structure physique de la topaze par des forces élastiques émanant de cavités minuscules, par sir DAVID BREWSTER.

Dans un mémoire lu au sein de la Société Royale d'Édimbourg le 20 janvier 1845 et dans deux notes insérées au *Philosophical Magazine*, sir David Brewster a décrit avec soin certains phénomènes curieux en rapport avec les cavités infiniment petites, découvertes par l'examen de plus de neuf cents échantillons de topazes. Il a trouvé que dans un très-grand nombre de cristaux de cette substance, certaines plages montraient dans la lumière polarisée quatre carrés lumineux séparés par les branches d'une croix noire. Ces espaces ressemblent à la portion centrale des figures que montrent dans la lumière polarisée les cristaux à un axe, portion formée des couleurs de premier ordre. Dans la lumière naturelle, ces plages sont signalées par un système d'anneaux concentriques. En examinant ce phénomène de plus près, on voit que le centre de ces plages est occupé par une petite cavité d'un trois-millième à un quatre-millième de pouce anglais ; et l'on aperçoit quelquefois des cassures qui rayonnent autour de la cavité.

Ces cavités diffèrent essentiellement de celles que l'on remarque ordinairement dans la topaze et qui renferment les fluides découverts et étudiés par sir David Brewster. En effet, dans les cassures des premières cavités, on ne retrouve jamais les substances solides qui apparaissent toujours quand on fait éclater les secondes par la chaleur ; de plus, les secondes cavités n'exercent aucune action de double réfraction sur la lumière, soit avant, soit après leur rupture par la chaleur, tandis que, comme on vient de le dire, les premières ou nouvelles cavités modifient considérablement la lumière transmise.

Sir David Brewster n'a jamais rencontré à la fois sur un même échantillon les deux sortes de cavités.

Les effets de dépolarisation observés autour des cavités nouvelles,

Digitized by Google

quand on les éclaire avec de la lumière polarisée et qui se manifestent par les quatre carrés lumineux ; les effets de double réfraction inégale qui dans la lumière ordinaire donnent naissance aux anneaux concentriques, démontrent, suivant M. Brewster, qu'une force élastique ayant pour point de départ et pour centre les cavités en question s'est exercée au sein d'un milieu mou, et que le milieu s'est solidifié sous l'influence de cette compression. Les cavités prouveraient donc que la cristallisation de la topaze a été certainement précédée d'une phase de ramollissement.

Sur la détermination des indices de réfraction des sept raies de Fraunhofer dans une série nombreuse de verres. — Description et emploi d'un nouvel appareil : l'illuminateur. — Vérification de la loi de Descartes, par M. l'abbé DUTIROU.

Dans la mesure des indices de réfraction, M. Dutirou comme MM. Rudberg et Baden-Powell, a adopté la méthode du goniomètre de Charles en s'efforçant de la rendre tout à fait rigoureuse. Il a pris tour à tour pour base de ses calculs, soit l'angle de déviation minimum des raies, soit l'angle d'incidence. Il a déterminé ainsi les indices de dix-huit échantillons de verre, soit anciens, soit nouveaux, pour les sept raies de Fraunhofer. Nous citerons seulement quelques-uns des résultats auxquels il est parvenu : 1° des verres nouveaux à l'acide borique et à l'oxide de zinc rendront un jour de très-grands services ; 2° des verres qui dispersent moins les couleurs brillantes que les couleurs sombres, contre toute attente, ont montré dans la pratique des inconvénients graves ; 3° un crown de Guinand, dont les dispersions partielles sont sensiblement égales à celles du crown de Dollond devra être très-bon pour les usages de l'optique : il est exempt de stries et parfaitement transparent ; 4° pour les flints, qui réfractent le plus et les divers crowns, le rapport des dispersions partielles va assez souvent en diminuant, des couleurs les plus réfrangibles aux couleurs les moins réfrangibles ; 5° deux verres particuliers à l'acide borique rempliraient mieux les conditions d'achromatisme que le flint et le crown ordinaires de Guinand ; 6° deux autres verres ayant à peu près la même densité offriraient de plus les avantages d'un milieu homogène, s'ils étaient combinés pour une lentille achromatique.

Digitized by Google

ILLUMINATEUR. — Le nouvel instrument dont l'idée première éminemment ingénieuse appartient à M. Babinet, est cependant pour M. Dutirou un véritable titre de gloire : c'est lui qui l'a fait établir et qui l'a réglé ; M. Jules Duboscq, gendre de M. Soleil, l'a construit avec un habileté rare ; c'est vraiment un des plus beaux instruments de l'optique moderne, sir David Brewster ne se lassait pas de l'admirer. Il sert à obtenir un rayon de lumière de réfrangibilité déterminée, de la réfrangibilité, par exemple, des raies principales de Fraunhofer. Il repose sur le principe suivant : Concevons que la lumière solaire tombe suivant une certaine direction sur un prisme fixe ; que l'on reçoive le spectre qui en résulte sur un écran fixe aussi, et placé à quelque distance ; qu'enfin l'on pratique sur cet écran des ouvertures aux points où tombent les parties du spectre correspondantes aux raies principales. Il est évident que, si le prisme étant posé à la même place on fait tomber sur lui, dans la même direction, une *lumière quelconque*, les rayons émergents qui passeront par l'une des ouvertures de l'écran auront le même degré de réfrangibilité que la raie solaire correspondante. Il est facile de prévoir que cet instrument rendra d'immenses services : il remplit une très-grande lacune, la science jusqu'ici ne possédait aucun moyen simple d'obtenir un rayon homogène de réfrangibilité connue. Avec l'illuminateur et un goniomètre de Babinet, M. Dutirou détermine les indices de réfraction avec une promptitude et une précision incroyables.

VÉRIFICATION DE LA LOI DE DESCARTES. — Quelques différences entre le calcul et les données expérimentales de certains phénomènes, par exemple, entre les diamètres calculés et mesurés des anneaux de Newton avaient fait penser très-légèrement et à tort, que la loi de Descartes cessait d'être vraie sous de très-grandes incidences. Les recherches récentes de MM. de la Provostaye et Desains ont fait disparaître, il est vrai, cette dernière objection ; mais il est extraordinaire qu'une loi aussi importante n'ait jamais été vérifiée directement par les moyens de précision dont la science dispose actuellement. M. l'abbé Dutirou a voulu combler cette nouvelle lacune et il l'a fait avec le plus grand bonheur. Il est parvenu à voir distinctivement celle des raies de Fraunhofer sur laquelle il opérait presque sous l'incidence de 89° 35′, et à mesurer alors même l'indice de réfraction. Les différences observées entre la théorie et l'expérience ont

Digitized by Google

toujours été de même ordre que les erreurs d'observation, et par-conséquent la réfraction s'opère suivant la loi de Descartes, au moins dans les corps parfaitement transparents. Nous disons parfaitement transparents, car nous sommes pleinement convaincu que dans les substances colorées et qui éteignent sensiblement la lumière, le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction n'est pas constant. Les vraies lois de la réflexion et de la réfraction sont celles énoncées et démontrées par M. Cauchy : le rapport entre le sinus d'incidence et l'épaisseur d'une onde incidente est égal au rapport du sinus de réflexion à l'épaisseur de l'onde réfléchie, au rapport du sinus de réfraction à l'épaisseur d'une onde réfractée. C'est seulement dans le cas de milieux parfaitement homogènes et transparents que l'épaisseur de l'onde réfléchie est égale à l'épaisseur de l'onde incidente, que l'épaisseur de l'onde réfractée est constante ; et que par conséquent les lois de la réflexion et de la réfraction se réduisent aux lois connues. Nous avions prié M. l'abbé Dutirou de vérifier les assertions de M. Cauchy, il l'a essayé, mais sans assez de succès : il y avait bien des différences, mais elles étaient quelquefois en sens opposés, sans doute parce que ses procédés n'étaient pas assez précis, ou qu'il opérait sur un verre trop peu coloré.

Si l'on se rappelle que MM. de la Provostaye et Desains n'ont vérifié la loi des anneaux colorés que jusqu'à l'incidence de 85° 21′, on appréciera mieux le mérite des importantes recherches de M. l'abbé Dutirou.

Observations sur le spectre solaire, par sir DAVID BREWSTER.

Ces observations prolongées pendant quinze longues années ont été faites avec un télescope de Dollond, de quatre pouces de diamètre, dans lequel on n'avait corrigé que l'aberration de sphéricité, et un prisme de Merz, le plus large peut-être des prismes existants. L'œil de sir David, peu sensible à la lumière violette, est très-sensible au contraire à la lumière rouge ; il n'a rien ajouté aux raies de la portion la plus réfrangible, mais il a découvert dans l'orangé et le rouge un grand nombre de raies situées au-delà des limites assignées par Fraunhofer. La nouvelle portion du spectre que sir David a vue distinctement audelà de la limite A du célèbre Bavarois, est à peu

Digitized by Google

près égale en largeur à l'espace compris entre les raies A et B : il faut pour la reconnaître, non-seulement exclure toute lumière étrangère qui pourrait tomber sur le prisme, mais encore revêtir la lunette intérieurement de velours noir ; et même exciter la rétine en la soumettant à la vapeur d'ammoniaque. On arrive ainsi à voir cinq nouvelles raies principales, un grand nombre de petites raies, et beaucoup de bandes étroites ou larges très-diversement éclairées. La partie la plus remarquable de cette portion du spectre est un groupe de huit lignes situées très près de A du côté le moins réfrangible, et dont la distance mutuelle croît à mesure qu'elles s'éloignent plus de A, de manière à donner à l'espace qu'elles occupent l'apparence d'un solide rouge.

Fraunhofer a signalé entre A et B un groupe de huit raies, que sir David Brewster appelle 1, 2, 3, ... 8. La portion 8 B contient près de B un groupe de lignes déliées séparées de B par un espace brillant : ces lignes deviennent de plus en plus fines à mesure qu'elles se rapprochent de A, et font naître six bandes dont trois lumineuses et trois obscures. La portion A 1, dans laquelle Fraunhofer n'a inséré aucune raie, renferme en son milieu neuf bandes très-fines avec une bande plus visible près de ses deux extrémités A et 1.

En septembre 1841, au coucher du soleil, la raie A était très-épanouie de manière à former un baudrier ou ceinturon très-large ; et ce qui est plus remarquable, sa partie centrale, un tiers à peu près de la largeur, était plus sombre et se détachait des deux autres tiers : en s'aidant d'une lentille cylindrique de court foyer, M. Brewster parvint à y découvrir des raies séparées et distinctes.

Observé ainsi avec un pouvoir grossissant beaucoup plus considérable, le spectre solaire apparaît à sir David Brewster composé d'un nombre immense de bandes d'intensités différentes et séparées par des lignes bien tranchées de largeurs différentes. Il n'est pas impossible que les raies ajoutées à celles de Fraunhofer soient produites par l'absorption de l'atmosphère, et qu'avec des prismes plus parfaits toutes les bandes obscures ou nébuleuses puissent se résoudre en raies distinctes.

Sir David Brewster assure qu'on ne peut pas révoquer en doute que l'atmosphère terrestre exerce une grande influence sur les modifications observées dans le spectre solaire ; et il apporte en preuve

Digitized by Google

les aspects différents sous lesquels le spectre s'est montré à lui aux diverses heures du jour. On voit quelquefois naître tout à coup des bandes qui semblent remplacer les raies connues. Dans certaines conditions atmosphériques, les raies D, C, B, *a*, A et M sont transformées en larges bandes sombres ; un grand espace dans la portion la plus lumineuse du spectre est comme entièrement absorbé quand le soleil se couche dans un rideau de lumière rouge.

Le spectre, obtenu avec la lumière du nitrate de potasse brûlant sur du charbon, offre une particularité très-digne d'attention. Il est sillonné de lignes brillantes qui coïncident, non-seulement avec les doubles lignes A et B, mais encore avec chacune des huit lignes qui forment le groupe *a* de Fraunhofer. Certaines lignes brillantes du spectre obtenu avec le nitrate de strontiane brûlant dans la flamme d'alcool, et comprises entre D et E, semblent coïncider aussi avec des raies du spectre solaire ; il en sera sans doute ainsi de beaucoup de lignes brillantes des spectres produits par les lumières artificielles.

Nous regrettons vivement d'avoir à faire remarquer que sir David Brewster n'a pas tenu compte dans ses appréciations et ses jugements d'un élément très-important. Un grand nombre de lignes obscures ou brillantes échappent à la vue parce qu'elles sont éclipsées ou dissimulées par la lumière trop vive ou l'obscurité trop profonde des autres portions du spectre ; il n'est pas douteux pour nous que, si vers le soir, au moment où le soleil se couche, on aperçoit un bien plus grand nombre de raies ou bandes sombres, cela tient à la diminution d'intensité de la lumière solaire, bien plus qu'à l'absorption de l'atmosphère. Nous avons fait à cet égard une observation capitale : dans les spectres produits par les substances qui brûlent entre les charbons fixés aux pôles de la pile, on voit un nombre très-limité de raies brillantes quand la lumière est très-intense, mais quand la lumière s'affaiblit, et surtout quand elle est près de s'éteindre, le nombre des lignes croît dans une proportion énorme. Ce fait nous a souvent et vivement frappé dans les expériences que nous faisions chez M. Soleil, et il nous a suggéré l'idée d'appliquer à l'observation des raies un procédé analogue à celui par lequel l'illustre Jésuite de Vico voyait et montrait si facilement les satellites de Saturne, en cachant le satellite ou les satellites les plus voisins de celui que l'on voulait mettre en évidence par un fil opaque placé devant l'œil.

Digitized by Google

Sur la manière dont les corps cristallisés se comportent entre les pôles des aimants ou des électro-aimants, par MM. KNOBLAUCH et TYNDALL.

Le but de ces recherches est de révoquer en doute le principe suivant établi par M. Plücker : les axes optiques des cristaux sont attirés ou repoussés par les pôles des aimants, suivant qu'ils sont positifs ou négatifs. Cette attaque d'un expérimentateur aussi habile que M. Knoblauch nous avait d'abord effrayé, mais après avoir relu attentivement sa note, nous étions pleinement rassuré, avant même que notre ami M. Plücker, auquel nous avions écrit eût eu le temps de nous répondre. Avec une tourmaline et un béryl taillés en cube de telle sorte que quatre des faces fussent parallèles à l'axe optique, MM. Knoblauch et Tyndall ont retrouvé les faits observés par M. Plücker, ils le reconnaissent eux-mêmes. Le désaccord commença avec les expériences sur le spath d'Islande. Sur onze échantillons suspendus entre les pôles de l'électro-aimant, cinq prirent la direction assignée par M. Plücker ; pour les six autres, l'axe optique coïncidait avec la ligne des pôles.

Cette différence entre les échantillons des deux groupes est restée la même dans toutes les expériences tentées par MM. Knoblauch et Tyndall, de quelque manière qu'ils aient opéré, avec des courants forts ou faibles ; et alors même qu'au lieu de considérer ces cristaux sous le point de vue des axes optiques, on faisait attention à la direction des plans de clivage. Pour les cinq premiers échantillons, le plan de clivage était parallèle à la ligne des pôles, dans les six autres ce même plan se plaçait transversalement.

A quoi devait-on attribuer cette différence ? Fallait-il admettre que le spath d'Islande est magnétique dans une direction, diamagnétique dans l'autre, que dans la direction des plans de clivage, le magnétisme pour l'un des groupes, le diamagnétisme pour l'autre, a une plus grande intensité ? MM. Knoblauch et Tyndall se sont si bien arrêtés à cette manière de voir, qu'ils se sont efforcés d'imiter les échantillons de spath par la superposition de deux lames d'ivoire, ou de gutta-percha, substances, dont la première est magnétique dans un sens, diamagnétique dans l'autre, dont la seconde est plus magnétique dans une direction que dans l'autre. Enhardis par la pro-

Digitized by Google

duction artificielle des phénomènes qu'ils avaient observés, ces deux jeunes physiciens ont brisé les vitres et posé les conclusions suivantes :

1° La loi de Plücker qui attribue à la direction des axes optiques la manière d'être des cristaux suspendus entre les pôles des aimants, est insoutenable dans la forme que son auteur lui a donnée.

2° Tous les phénomènes observés dans le cas où le cristal est le spath d'Islande s'expliquent facilement, si l'on admet que les échantillons diamagnétiques sont moins diamagnétiques dans la direction du clivage, et que les échantillons magnétiques sont moins magnétiques dans cette même direction.

Voici la réponse de M. Plücker, datée de Bonn, le 6 mai dernier. « J'ai répondu d'avance à M. Knoblauch, dans un mémoire sorti de mes mains au mois de décembre dernier. J'y donne l'explication mathématique de ce qu'est l'attraction ou la répulsion d'une direction indépendante de l'action exercée sur les molécules du corps. Vous en déduirez facilement, que les phénomènes observés dans le carbonate impur, sont des effets secondaires ou des perturbations provenant du fer distribué régulièrement dans le cristal. Dans ces phénomènes si compliqués, on ne peut rien conclure d'un fait isolé. Des deux cristaux d'arsenic observés par M. Faraday et par moi, l'un est magnétique, l'autre diamagnétique, et tout deux cependant se dirigent de la même manière sous le rapport du plan de clivage. »

Cette réponse nous paraît parfaitement suffisante. M. Knoblauch avoue, en effet, avoir constaté par l'analyse chimique que les échantillons de spath d'Islande du groupe magnétique contenaient du carbonate d'oxidule de fer à l'état isomorphe.

M. Plücker ajoute dans sa lettre que la grande question à résoudre, question qui l'occupe tout entier, c'est de décider si le magnétisme a sa cause dans les molécules mêmes des corps, ou s'il est produit par les modifications des vibrations de l'éther sous l'influence des molécules des corps et de leurs arrangements.

Voici notre réponse :

Les phénomènes du magnétisme, comme ceux de l'électricité, de la chaleur rayonnante et de la lumière, sont des phénomènes éthérés, en ce sens qu'ils ont tous pour raison d'être un état particulier de l'éther, et des molécules d'éther renfermées dans les corps.

Digitized by Google

Sur l'apparition de la croix noire dans un verre qui n'a pas été trempé par un refroidissement subit. Note de M. SPLITGERBER.

M. Splitgerber avait déjà dit que la présence dans le verre de parties opaques produites par la dévitrification signalée par Réaumur, et un nouvel arrangement des molécules, donnait naissance dans la lumière polarisée à l'apparition de la croix noire, indice d'une double réfraction. Il a décrit dans les annales de Poggendorff, et il a montré tout récemment à Paris un semblable verre préparé avec le plus grand soin, refroidi très-lentement, et au sein duquel s'était produit un petit espace circulaire, opaque et de couleur blanche, par suite évidemment d'une dévitrification réelle. En regardant cet espace dans l'appareil de polarisation, on voyait une croix noire, terminée par quatre houppes blanches aux limites desquelles la loupe montrait un nuage de lumière jaune. Quelques fissures dénonçaient une compression, non pas produite du dedans en dehors, mais résultant d'une tendance des molécules condensées à s'éloigner du reste de la masse. Les bulles d'air renfermées dans le verre ne donnent naissance, ni à des fissures, ni aux phénomènes observés par M. Splitgerber, mais des petits corps étrangers peuvent les faire naître. On doit donc à M. Splitgerber la découverte d'un genre de compression différent de la compression mécanique ou de celle produite par la trempe.

MÉMOIRES SUR LA PHOTOMÉTRIE DE M. ARAGO.

Heureusement que nous avons réservé pour un autre volume la grande question de la photométrie; car nous éprouverions un vif et profond regret de ne pouvoir reproduire avec de grands détails les recherches photométriques du plus illustre de nos physiciens, de notre maître par excellence, de M. Arago. « Le mauvais état de ma santé, disait-il dans la séance du 18 mars dernier, et l'altération profonde que ma vue a éprouvée presque subitement m'ont imposé le désir, j'ai presque dit m'ont imposé le devoir de procéder à une prompte publication des résultats scientifiques qui depuis longtemps dorment dans mes cartons. Je me suis décidé à commencer par la photométrie, cette science qui, née au sein de l'académie

Digitized by Google

des sciences, est restée presque stationnaire au point de vue expérimental, au milieu des brillants progrès que l'optique a faits depuis un demi-siècle. »

Dans son premier mémoire, M. Arago s'est occupé exclusivement des expériences par lesquelles il a démontré la loi photométrique que les physiciens ont appelée la loi du carré du cosinus. Il a suivi dans ces recherches deux voies différentes. Il fallait avant tout mesurer les quantités de lumière réfléchie et transmise sous un certain nombre d'inclinaisons par une lame de verre à faces parallèles : c'est ce qu'a d'abord fait M. Arago pour suppléer à une omission inexplicable de Bouguer. Il a déterminé directement avec l'aide de MM. Laugier, Petit et Charles Mathieu 1° l'angle 4° 32′ compté à partir de la surface sous lequel une lame de crown-glass réfléchit quatre fois plus de lumière qu'elle n'en transmet : 2° l'angle 7° 1′ sous lequel la lumière réfléchie est double de la lumière transmise ; 3° l'angle 17° 17′ sous lequel la lumière réfléchie est égale à la moitié de la lumière transmise ; 4° enfin l'angle 26° 38′ sous lequel la lumière réfléchie est le quart de la lumière transmise. Par une interpolation légitime on arrive facilement à connaître exactement les quantités de lumière transmise ou réfléchie pour des angles, compris entre les précédents : M. Arago n'a pas publié encore les expériences qui conduisent à la vérification définitive de la loi du carré du cosinus, loi extrêmement importante, car elle rend possible la solution d'un grand nombre de problêmes inabordables. Sans elle la lunette prismatique et le polarimètre seraient impossibles. Or, avec le polarimètre, par exemple, on résout les questions suivantes : le bord et le centre du soleil sont-ils également lumineux? Quelles sont les intensités relatives des parties brillantes et obscures de la lune, de la lumière lunaire provenant du soleil et de la lueur cendrée provenant de la terre ; des continents et des mers du satellite de la terre ? etc., etc.

Le second mémoire est consacré à la seconde vérification de la loi du carré du cosinus, en opérant non plus sur des rayons confondus, mais sur des images séparées. La nouvelle méthode repose sur l'emploi de deux artifices : le premier consiste à dédoubler successivement les images par voie de double réfraction ; le second à emprunter toujours la lumière à un large écran de papier,

Digitized by Google

vu par transmission. M. Arago prouve par le raisonnement et par l'expérience que l'observateur ne doit tenir aucun compte des distances variées où peut être placé l'écran, et même, dans certaines limites, de l'angle d'émission des rayons. Il démontre aussi par l'observation directe et par le polariscope, que le dédoublement opéré dans un rayon de lumière neutre par un cristal biréfringent se fait exactement par moitié. Il constate enfin, contrairement aux résultats contenus dans des ouvrages classiques, le fait capital qu'aucune portion sensible de lumière ne s'éteint ni dans l'acte de la réflexion, ni dans l'acte de la réfraction à la première et à la seconde surface de la lame.

Dans le troisième mémoire, il montre comment on peut passer des petits angles 4° et 26° 1/2 aux grandes incidences voisines de la perpendiculaire; comment sa méthode peut être appliquée à la détermination de la perte de lumière qui s'opère dans la réflexion à la surface des métaux. Les expériences ont porté sur des miroirs de platine, d'acier et sur le métal des miroirs, mais comme ces métaux ou alliages n'étaient pas *chimiquement purs*, il faudra renouveler les observations.

Bouguer avait annoncé une perte de lumière considérable dans l'acte de la réflexion totale: il évaluait cette perte au tiers ou au quart de la lumière incidente. M. Potter avait déjà mis en évidence l'inexactitude de ce résultat; M. Arago a constaté que la perte, si perte il y a, ne s'élève pas à un centième : cela nous étonne grandement.

Dans ce même mémoire enfin, M. Arago évalue en nombres la sensibilité du polariscope: cet instrument accuse sans équivoque 1/80 de lumière polarisée pour un œil non fatigué et de sensibilité moyenne. C'est extraordinaire !

La lecture du quatrième mémoire sur la photométrie, qui a pour objet la constitution physique du soleil, n'est pas achevée et nous n'en connaissons que le titre.

Un sentiment de justice et la vérité nous obligent à constater que les expériences de M. Arago s'arrêtent à la vérification de la loi du carré du cosinus et des formules d'intensité de Fresnel; or cette loi et ces formules ne sont qu'une première approximation. Elles supposent la polarisation complète qui n'a lieu que pour un nombre très-restreint de substances transparentes.

Digitized by Google

M. Cauchy avait prévu théoriquement, et M. Jamin a démontré expérimentalement, qu'il faut dans les expériences de ce genre tenir compte de ce fait essentiel, que la polarisation rectiligne est l'exception, la loi mathématique; que la polarisation elliptique est le cas général, la loi physique; et que par conséquent il faut faire entrer en ligne de compte une constante particulière pour chaque substance, le coëfficient d'ellipticité de M. Jamin. Pourquoi M. Cauchy, recevant de M. Jamin les coëfficients d'ellipticité, n'apporterait-il pas à l'Institut le tableau complet des intensités de la lumière réfléchie et transmise pour des lames à surfaces parallèles des principales substances transparentes, et ne complèterait-il pas les nombres déjà donnés par lui pour la réflexion à la surface des métaux?

Dans une note du 22 avril dernier, l'illustre géomètre a bien fait de rappeler que la loi du carré du cosinus est un corollaire immédiat des premiers principes sur lesquels repose la théorie des ondulations, qu'elle découle immédiatement de l'hypothèse admise que l'intensité de la lumière a pour mesure le carré de l'amplitude des vibrations moléculaires du fluide éthéré. Il avait établi depuis longtemps: 1° que si le rayon réfracté par la surface extérieure forme avec la normale à cette surface un angle dont le sinus surpasse l'unité divisée par l'indice de réfraction de la plaque, le rayon émergent disparaîtra; 2° que, dans le cas où cette disparition a lieu, la réflexion du rayon réfracté opéré par la surface intérieure ne fait pas varier l'intensité de la lumière de sorte que la réflexion est réellement totale, ce qui s'accorde d'une part avec la locution généralement admise, et d'autre part avec les expériences de M. Arago.

Dans ce même cas de la réflexion totale, si l'on décompose le rayon réfracté en deux autres polarisés, l'un dans le plan d'incidence, l'autre perpendiculairement à ce plan, la différence de marche δ des deux rayons composants, en désignant par τ l'angle d'incidence, par λ l'angle plus grand de la réflexion totale, par ε le coëfficient d'ellipticité, sera donnée par l'équation:

$$\frac{\operatorname{tang}\frac{\delta}{2}}{\cos\tau} = \varepsilon + \frac{\sin^{\frac{1}{2}}(\tau-\lambda)\sin^{\frac{1}{2}}(\tau+\lambda)}{\sin^2\tau},$$

Si l'on néglige le coëfficient d'ellipticité, ou s'il s'évanouit, on aura plus simplement

Digitized by Google

$$\tang \frac{}{2} = \frac{\sin^{\frac{1}{2}}(\tau - \lambda)\sin^{\frac{1}{2}}(\tau - \lambda)}{\sin\tau \tang\tau},$$

formule équivalente à celle donnée par Fresnel.

En résumé : Autrefois un corps transparent était défini par une seule constante, le rapport de réfraction ; et l'on admettait que sur chacune de ces substances la lumière était rectilignement et complètement polarisée sous un certain angle. Maintenant qu'il est démontré que la polarisation rectiligne complète n'existe pas, il faut, pour définir le milieu transparent, ajouter une seconde constante, le coëfficient d'ellipticité. C'est ainsi que les corps opaques sont eux-mêmes définis par deux coëfficients, l'indice de réfraction et le coëfficient d'extinction. M. Cauchy, par un heureux tour de force, a remplacé ces deux coëfficients insaisissables en eux-mêmes par deux angles faciles à mesurer, l'angle de polarisation et l'angle de restauration de sir David Brewster. Les corps opaques dès lors, au point de vue de leur action sur la lumière, ont été si bien définis en eux-mêmes que M. Cauchy, en parlant de ces deux données, a pu déterminer *à priori* la quantité de lumière réfléchie à la surface des métaux sous des incidences quelconques. Nous soupirions depuis longtemps après le jour où il nous serait donné de comparer ces nombres théoriques de M. Cauchy avec les nombres pratiques de la photométrie. Cette comparaison devait être un événement scientifique ; pourquoi faut-il que M. Arago se soit imposé l'obligation de retirer les nombres déposés par lui sur le bureau de l'Académie. Les métaux sur lesquels il avait opéré n'étaient pas, dit-il, chimiquemen purs : qu'est-ce que cela fait? C'étaient des métaux, et on pouvait les définir optiquement en mesurant, expérimentalement les deux angles de polarisation maximum et de restauration. Partant de ces deux angles, M. Cauchy aurait calculé les quantités de lumière réfléchie : on aurait comparé ses nombres aux nombres de M. Arago. Le grand physicien a défié le grand géomètre, et le monde savant attend avec une vive impatience que cette glorieuse lutte fasse ressortir une grande vérité.

20 Mai 1850.

Digitized by Google

TABLE ANALYTIQUE

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE

DES

MATIÈRES

contenues dans les quatre volumes

DU

RÉPERTOIRE D'OPTIQUE MODERNE.

Aberration de la lumière. Nature du phénomène ; explication première ; difficultés ; opinion de M. Cauchy..... II. 404 à 404.

— Explications diverses du phénomène ; critique de M. Doppler ; recherches théoriques de MM. Stokes et Challis ; Intervention conciliatrice de M. Powell..... IV. 1755 à 1759.

Absorption de la lumière. Analyse du spectre par absorption de Brewster. *Voyez* **Spectre solaire.**

— Sans polarisation : Le rayon transmis est neutre ; comment observer ce genre d'absorption ; changement de couleur suivant que l'on éclaire avec telle ou telle lumière..... I. 380.

— Avec polarisation : loi de M. Babinet. Différence de teinte, soit qu'on regarde suivant les axes, ou dans une autre direction. Différence entre les cristaux attractifs et répulsifs ; la lumière transmise varie d'une espèce et même d'une variété à l'autre..... I. 381.

— assignée comme la cause des raies obscures du spectre..... II. 440.

— Expliquée par les interférences ; théorie de M. Erman. Absorption par l'iode, le brôme, les atmosphères des astres : comparaison avec les raies noires du mica : calcul de la distance des raies. Relation entre les longueurs d'onde, les déviations minima, et les indices de réfraction ; application à l'action absorbante des vapeurs ; accord du calcul et de l'observation ; bandes d'absorption. Remarques critiques sur le mémoire de M. Erman..... II. 440 à 455.

— Cause, suivant M. de Maistre, de la couleur des corps..... II. 494.

— inégales pour les divers rayons..... II. 497.

— Théorie de l'absorption de M. de Wrede ; objection de M. Brewster ; réponse incomplète d'Airy. Solution : l'absorption peut être le résultat d'interférences dues à des réflexions multiples. Comparaison du calcul avec l'expérience ; reproduction artificielle au moyen de lames de mica cylindriques ;

Digitized by Google

absorption propre de l'iode, du brome, etc., comment on peut les expliquer. Spectre vu à travers l'oxalate de chrôme; spectres avec deux séries de raies d'absorption. Les raies du spectre solaire, phénomène d'absorption très-complexe. Expériences comparatives: elles semblent prouver que la théorie exposée de l'absorption est vraie..... II. 517 à 547.
Absorption produite par les milieux colorés, courbes propres au spectre de chaque liquide..... III. 1258 à 1265.
Accès de facile réflexion et de facile transmission..... I. 76.
— Pourquoi Newton les a inventés; ils varient avec la couleur : Newton les a revêtus de propriétés incompatibles..... I. 210, 214.
Actinographe.....II. 781.
Albuminimètre de M. Alfred Becquerel..... IV. 1535.
Anneaux colorés. *Plaques minces.* Anneaux réfléchis. Mode d'expérimentation: loi des épaisseurs, bandes circulaires, succession des couleurs, couleur de la portion centrale, centre noir, couleurs de divers ordres, échelle de Newton. Lois fondamentales du phénomène des anneaux colorés : comment on peut les établir à l'aide de la lumière homogène. Loi des épaisseurs. Loi de l'influence de la couleur de la lumière incidente. Loi de l'obliquité. Loi de l'influence de la plaque réfléchissante. Anneaux transmis. Leur couleur complémentaire. Explication physique dans les deux systèmes : impossible dans le système de l'émission, facile et complète dans la théorie des ondulations. Young le premier a ramené le phénomène aux interférences. Démonstration des quatre lois. Contradiction apparente; perte d'une demi-ondulation. Perfectionnement de la théorie d'Young. Calcul ingénieux de Poisson. Opposition complète des deux systèmes. Triomphe de la théorie des ondulations. Expérience de M. Babinet pour mettre en évidence la perte d'une demi-onde. Anneaux à centre blanc. Leur théorie. Appareil de M. Arago, donnant des anneaux à centre noir et à centre blanc, successivement ou à la fois. Projection des anneaux par M. Soleil. Anneaux à centre gris des métaux et substances à éclat métallique; M. Cauchy en a donné la théorie. Polarisation de la lumière des anneaux colorés; son étude par M. Arago; explication des faits observés; cas où la plaque inférieure est métallique. Anneaux à centre blanc avec la lumière polarisée. Nouvel avantage de la théorie des ondulations. Énoncé des faits observés par M. Arago. Faits nouveaux observés par M. Brewster: anneaux éclairés par de la lumière polarisée et vus sous l'angle de polarisation : Bande centrale, deux séries d'anneaux, explications, cas particuliers, verre, spath fluor, diamant. Comment les phénomènes varient avec le pouvoir réfringent. Cas où la lumière est polarisée dans un plan incliné. Substances très-réfringentes. Loi générale des phénomènes. Cas où la plaque mince a un pouvoir réfringent plus considérable que la substance sur laquelle elle repose; couches naturellement ou artificiellement déposées. Exception relative à l'argent. Cas où la lame mince repose pas sur

Digitized by Google

une surface liquide ou solide. Cas où la seconde surface est inclinée. Théorie complète de ces phénomènes, donnée par M. Lloyd. Prévisions de la théorie. Anneaux colorés devenus un moyen photométrique : méthode de M. Arago. Principales circonstances dans lesquelles se forment les anneaux colorés : évaporation, extension des liquides, insufflation, oxidation, dépots ..... I. 204 à 241.

Anneaux colorés *des doubles surfaces à distance;* plaques parallèles de Nicholson ; plaques d'égale épaisseur inclinées, de sir David Brewster; plaques épaisses de Newton ; lois de ces phénomènes ; on les ramène aux interférences. Théorie complète de M. Babinet ; anneaux de M. Babinet, du duc de Chaulnes, d'Herschel, de M. Pouillet, de M. Quételet. Le système des ondulations rend compte de tout..... I. 241 à 247.

— *des plaques mixtes;* caractères de ces anneaux. Cas des milieux indéfinis, eau et poussière de lycopode, couleurs réfléchies et transmises. Expérience de M. Babinet : différences entre ces anneaux et ceux des plaques minces sous le rapport de la polarisation. Application au phénomène du soleil bleu, rouge, violet..... I. 247 à 249.

— de la polarisation chromatique..... I. 259 à 261, 348 à 359.

— dans certains fluides ou milieux dichromatiques; observations de M. Lœwe ; croix de Saint-André vue par M. Haidinger ; structure de l'œil..... IV. 1472 à 1477.

— Observation des anneaux au delà de l'angle critique ; calculs de M. Stokes..... IV. 1488.

— Série des couleurs dans les anneaux de Newton ; observation de M. Ernest Brücke ; rectifications..... IV. 1477 à 1480.

— Observation des anneaux colorés sous de très-grandes incidences; rectification des observations de Newton ; accord de l'expérience et de la théorie : expériences de MM. de la Provostaye et Desains..... IV. 1480.

— Sur les anneaux colorés, et sur deux nouveaux instruments, le gyréidoscope et le thermomicromètre, rendant plus faciles l'observation et la mesure des anneaux ; mémoire de M. Jérichau; application à l'étude de divers phénomènes..... IV. 1481.

Anorthoscope de M. Plateau..... II. 569.

Anthélies, diverses sortes, leur théorie. *Voyez* **Optique météorologique.**

Arc-en-ciel..... I. 293. IV. 1603.

— *Voyez* **Optique météorologique.**

Arc circumzénithal. *Voyez* **Optique météorologique.**

Arc tangent extraordinaire. *Voyez* **Optique météorologique.**

Arcs tangents. *Voyez* **Optique météorologique.**

Arcs obliques passant par l'astre ou par l'anthélie. *Voyez* **Optique météorologique.**

Astéries par réflexion, par réfraction ; phénomène analogue aux réseaux ; existence réelle des fibres démontrée par M. Babinet..... I. 384, 385.

Digitized by Google

Astéries. Nouvelle astérie du diamant observée par M. Descloiseaux. Étoiles fixes de certains minéraux ..... I. 398 à 401.

Astéroïdes ou étoiles filantes. Hypothèses sur leur nature; comment la terre les absorbe; leur périodicité; périodes connues; conjectures de M. Biot..... II. 404 à 409.

Axes optiques des cristaux. Cristaux simplement réfringents, à un ou à deux axes optiques .....I. 82.

— Leurs rapports avec les axes d'élasticité..... I. 90.

— Les axes optiques des cristaux sont attirés ou repoussés par les pôles des aimants, suivant que le cristal est négatif ou positif. *Voyez* **Rayons magnétiques**..... III. 1070, 1071.

Aurore polaire, boréale ou australe. Description du phénomène : observation curieuse; circonstances du phénomène; segment obscur, arc lumineux, couronne, étendue et hauteur, fréquence et périodicité, nature de la lumière, sa polarisation, rapport avec le magnétisme terrestre et les variations de l'aiguille aimantée, avec l'électricité; bruit chimérique; cause; hypothèse de M. Cauchy; lueur boréale permanente de M. Colla; remarque critique. II. 411 à 429. Explication de M. de La Rive..... IV. 1759.

Bandes d'interférences. *Voyez* **Interférences.**

Bandes polaires. *Voyez* **Optique météorologique.**

— Biprisme employé d'abord par M. Arago. I. Additions et corrections, fin du 1er volume.

Calotypie ou photographie sur papier. *Voyez* **Photographie.**

Cercle parhélique. *Voyez* **Optique météorologique.**

Chaleur rayonnante. *Voyez* **Rayons calorifiques.**

Chatoiement des surfaces cristallines. Principes généraux; orientation des houppes : phénomènes propres aux cyanures de potassium et de platine, de barium et de platine, de magnesium et de platine, au murexyde, à l'hydrochinon vert, à l'oxalate d'oxydrate de platine, à l'indigo. Loi générale : le chatoiement est formé de lumière colorée, renvoyée à la surface des cristaux et polarisée perpendiculairement au plan d'incidence du rayon. Considérations théoriques.....III. 1295 à 1314.

Chromascope de M. Soleil : sa construction, ses usages; principes fondamentaux.....III. 1279.

Chromatique. Échelle chromatique de Nobili. *Voyez* **Couleurs**.... II. 595.

Chromato-Spendopsie. *Voyez* **Daltonisme.**

Chronoscopes divers : moyens d'apprécier l'instantanéité ou la durée de divers phénomènes. Méthode de Wheatstone; méthode de Savart; perfectionnement de M. Matteucci; méthode de M. Plateau...II. 565 à 569.

Contraste. Effets de contraste; lois du contraste.....II. 577.

— Recherches de M. Chevreul sur les lois du contraste simultané...II. 594.

Couleurs bleue, rouge du ciel; couleurs de l'aurore. Mesure du bleu du ciel. *Voyez* **Optique météorologique.**

Digitized by Google

Couleurs des astres modifiées par les déplacements relatifs de l'observateur et des astres. *Voyez* **Vitesse**..... III. 1165.
— de l'eau des glaciers, de l'eau de la mer, de la grotte bleue de Capri. *Voyez* **Optique météorologique.**
— du spectre solaire. *Voyez* **Spectre solaire.**
— des anneaux colorés. *Voyez* **Anneaux colorés.**
— des lames minces : la première observation qu'on en fit; en quoi elles consistent; leur dépendance de l'épaisseur de la couche. Couche de métal oxidé; bulles de savon, huile sur l'eau, lame de verre ou de vide. Apparences que présentent dans la lumière polarisée les lames ou plaques minces des substances solides ou fluides : recherches de M. Arago; expériences de M. Brewster..... I. 205 à 241.
— des plaques mixtes. I. 247 à 249. *Voyez* **Anneaux colorés.**
— *en elles-mêmes.* Essence de la couleur des corps; divers systèmes; couleurs simples. Théorie d'Euler : les couleurs sont des vibrations; comparaison avec le son : la teinte correspond au ton; l'intensité à l'éclat, la nuance au timbre, les sept couleurs forment comme un octave. Couleurs composées; analogie avec le son ..... II. 456 à 500.
— *des corps.* Théorie de Newton; postulata, réflexions multiples à l'intérieur; analogie avec les lames minces. Développements donnés par M. Biot; groupes moléculaires; passage du rayon à travers les groupes; lumière transmise; réflexion sur les groupes, rayon réfléchi, couleur propre des corps; rapport des rayons réfléchis et transmis; absorption plus ou moins complète; teinte plus ou moins claire, plus ou moins foncée; dans leur décroissement et leur accroissement les teintes semblent suivre la succession assignée par Newton; règne végétal, combinaisons chimiques, etc., etc. Comment on déduit de la teinte la grosseur des molécules. Réfutation de cette explication, contradictions qu'elle renferme; M. Brewster démontre que les couleurs des corps ne rentrent pas dans les ordres de Newton. Observations de Hassenfratz; affinité des corps pour la lumière. Jugement de M. de Maistre; l'identité de la couleur réfléchie et de la couleur transmise rend l'explication de Newton et de M. Biot impossible; il faut revenir au fait de l'absorption; le mot absorption est bien vague. La réflexion régulière ne peut pas engendrer la couleur propre des corps. II. 479 à 495. La lumière produite par la réflexion irrégulière ou décomposante participe seule à la production de la sensation de couleur des corps; la lumière régulièrement réfléchie n'y est pour rien. II. 499. La lumière irrégulièrement réfléchie est modifiée par l'absorption. II. 497. La lumière régulièrement réfléchie empêche de voir les corps avec leur couleur vraie. Observations de Benedict Prevost; les rayons irrégulièrement réfléchis après absorption plus ou moins grande déterminent la couleur des corps; comment par des réflexions successives éteindre la lumière régulièrement réfléchie; couleur vraie de l'or, de l'argent, du

Digitized by Google

cuivre, etc.; les couleurs vraies sont sensiblement homogènes. Phénomènes dépendants de la même cause; couleur des vases profonds, du velours; le brillant des yeux du chat et autres animaux. Influence de la lumière par laquelle on éclaire sur la couleur des corps. La lumière qui produit les corps rayonne de leur sein et d'une profondeur appréciable. La couleur des corps est ordinairement pâlie par la lumière blanche. II. 508 à 509. Théorie d'Euler; on voit les corps par des rayons qui leur sont propres et qui sont le produit des vibrations consécutives de l'éther qu'ils renferment, par une sorte d'incandescence intérieure; parallèle entre le son et la lumière; consonnance plus ou moins forte, sympathique à telle couleur, d'où résulte l'immense variété des couleurs de la nature. Expérience fondamentale: un corps n'est visible que lorsqu'on l'éclaire avec une lumière renfermant des rayons de même couleur que lui; les corps modifient donc la lumière qui les éclaire. II. 509 à 517. Ce que sont définitivement les couleurs des corps; leur raison dernière; leurs caractères, accidentelles ou variables, essentielles ou permanentes; elles ne sont pas analogues aux couleurs des lames minces; elles résultent d'un mouvement vibratoire propre, et se trouvent de plus quelquefois modifiées par une réaction intérieure. Expérience capitale de M. Arago: la lumière dispersée par les corps est souvent polarisée par réfraction, elle est créée par le corps lui-même. Expérience de M. Botzenhart: vu à la loupe dichroscopique, le corps coloré donne deux images, l'une blanche, l'autre colorée de sa couleur. II. 547 à 553. Note de M. Botzenhart sur les corps colorés vus à travers la loupe dichroscopique; remarques de M. Haidinger; état réel de polarisation de la lumière colorée réfléchie; dichrophane, ou appareil pour l'observation de la lumière bicolore transmise..... IV. 1437.

Couleurs des verres colorés, comment on peut les définir ou mesurer leur réfrangibilité à l'aide des raies du spectre..... II. 558.

— *accidentelles* ou *subjectives*. Différence entre les couleurs objectives et subjectives; réaction de l'œil. Observation de Newton; recherches de M. Plateau. Persistance des images; mesure de la durée des impressions; durée du temps nécessaire à leur production; lois de la persistance des images. Kaléidophone de Wheatstone, photomètre de Wheastone, chronoscopes divers; moyen d'apprécier l'instantanéité ou la durée de divers phénomènes. Traumatrope. Anorthoscope. Expériences de M. Faraday sur une roue en mouvement vue dans un miroir. Couleurs subjectives succédanées, leurs propriétés; une couleur succède à la couleur complémentaire en donnant naissance à une suite d'apparitions et de disparitions; comment on les voit, comment elles se combinent. Couleurs subjectives simultanées, ombres colorées, effet de contraste; lois générales des couleurs subjectives simultanées; explication de divers phénomènes; application aux arts. Nature plus intime de ce genre de couleurs; comparaison

Digitized by Google

des couleurs des deux ordres ; nouvelle classe de phénomènes ; hypothèses imaginées pour expliquer ces singulières apparences. Théorie de Scherffer; théorie du contraste, théorie de M. Plateau. Expérience du docteur Smith ; fait observé par M. Gergone ; mémoires de Fechner ; explication des ombres colorées ; trois ordres probables de couleurs subjectives. Recherches de M. Chevreul sur les lois du contraste simultané. Échelle chromatique de M. Nobili ; analogie singulière ; illusion des cœurs agités..... II. 566 à 599.

Couleurs produites dans l'œil par la pression ou d'autres causes indirectes ; irritation mécanique ou compression ; électricité ; imagination ; causes internes ; ondulations excitées dans la rétine ; expériences de M. Brewster ; expérience de M. Péclet ; fait singulier observé par M. Libri. Procédé de Purkinje pour rendre visibles les ramifications de la rétine ; explications de MM. Brewster et Wheatstone ; appareil de M. Wheatstone ; coloration de la rétine et du cristallin. Recherches de M. Melloni ; la rétine est réellement jaune ; cette couleur s'efface avec l'âge, alors le cristallin jaunit ; accordeur providentiel..... II. 612 à 623.

— dans la lumière produite par la chaleur ; les couleurs apparaissent successivement dans l'ordre de leur réfrangibilité..... III. 966.

— engendrées au sein des liquides en communication avec les pôles de la pile ; expériences du R. P. Mais..... III. 1090.

— idées relatives à une classification des couleurs. Règle empirique de Newton. Diagramme des couleurs de Mayer, de M. Hay, de M. Forbes ; expériences du physicien écossais..... III. 1272 à 1277.

— Existence de la couleur brune, complémentaire du gris-lavande d'Herschel ; observation de M. Brücke..... III. 1282.

— Couleur bleue de la lumière transmise par une feuille d'or, généralité de ce phénomène ; recherches de M. Dupasquier..... III. 1293.

— des métaux. Recherches de M. Jamin ; en quoi consiste sa méthode d'expérimentation ; diverses classes de métaux ; accord de l'expérience avec les formules de M. Cauchy ; nombres donnés par l'expérience ; couleurs réelles de divers métaux ; confirmation des expériences de M. Prévost : rapport de M. Babinet ; importance de ces recherches..... IV. 1417 à 1430.

Couronnes : stéphanoscope, appareil à montrer les couronnes. *Voyez* Optique météorologique.

— produites par les fibres des cristaux ; leur diamètre ; on en déduit la grosseur des fibres..... I. 386 à 388.

Crépuscule. Ses teintes, il peut servir à mesurer la hauteur de l'atmosphère..... I. 292.

Cristaux positifs ou négatifs, attractifs ou répulsifs..... I. 92. IV. 1592.

— Leur combinaison dans la polarisation chromatique..... I. 257.

— La compression et la chaleur transforment un milieu isotrope en milieu doublement réfringent à un axe ou à deux axes, modifient le nombre, la

Digitized by Google

position, l'inclinaison des axes. Variations de l'élasticité. Dilatations différentes dans les différents séns.....I. 286, 287.
Cristaux à un axe pour certaines couleurs, à deux axes pour d'autres. Explication donnée par Brewster.....I. 352.
— jumeaux: ils se composent de deux individus de même nom, dextrogyres ou levogyres.....I. 376.
— avec cavité, topaze; phénomènes..... IV. 1768.
Cyanomètre. Appareil pour mesurer la couleur bleue du ciel.....I.291.
Daltonisme ou des imperfections innées dans la perception des couleurs; définition, observation de Dalton; observations diverses; famille Harris: classification de Seebeck; classification de Szokalski. Nombre des Daltoniens; signes caractéristiques; répartition suivant le sexe; influence de l'âge et de la parenté; explication du Daltonisme; méthode de redressement de Seebeck.....II. 623 à 637.
Dépolarisation, I. 250. Sur une surface rugueuse..... IV. 1383.
— par l'hyalite, le mélange avec l'huile de la poudre de cristal de roche, de verre ou de spath fluor; plus ou moins complète suivant la couleur. I. 377.
Déviation, minimum. I. 323. *Voyez* **Réfraction.**
— des rayons lumineux; appareil de M. Doppler, pour la mesurer quelque petite qu'elle soit..... IV. 1751.
— **rotatoire**, phénomène nouveau que présente la lumière à son entrée dans les milieux en mouvement; recherches de M. Doppler.....IV. 1753.
— Application de ce phénomène à la solution d'un grand nombre de phénomènes d'astronomie optique.....IV. 1754.
Dextro-gyre. Plaque faisant tourner le plan de polarisation à droite..I. 262.
Diamant. Anneaux colorés observés sur le diamant.....I. 226. 231.
Diaphanomètre. Instrument pour mesurer la transparence de l'atmosphère.....I. 290.
Dichroïsme. Nature du phénomène, couleur différente dans différentes directions; la lumière transmise suivant l'axe n'est pas polarisée. *Voyez* **Optique minéralogique**.....I. 381 à 382.
Dichrophane. Appareil de M. Haidinger pour rendre facile l'examen de la lumière bicolore transmise.....IV. 1439
Diffraction de la lumière. L'ombre réelle est beaucoup plus large que l'ombre géométrique; elle est sillonnée. Description du phénomène de la diffraction; la largeur des franges varie avec la nature de la lumière; elles ont une forme rectiligne ou hyperbolique. Franges intérieures, elles varient aussi avec la couleur; cas de deux obstacles placés en présence l'un de l'autre, ou d'une ouverture à bords rectilignes. Lois de l'écartement des franges hyperboliques; cas ou les bords de l'ouverture forment un angle; cas des bords curvilignes; explication de ce phénomène dans la théorie de l'émission; objections; explication dans le système des ondulations à l'aide du principe des interférences. Théorie incomplète d'Young; théorie complète de Fresnel. Ondes partielles ou secondaires interférant avec

Digitized by Google

l'onde principale; relation de la grandeur des franges avec la longueur d'onde et la distance des franges à l'obstacle, ou au bord de l'ouverture rectangulaire; confirmation des lois découvertes par Fraunhofer. Anneaux de diffraction colorés dans le cas d'une ouverture circulaire; disque opaque éclairé à son centre du côté opposé à la lumière; preuve concluante de la théorie des ondes : comment à l'aide des bandes de diffraction on peut reproduire le phénomène des couronnes. Eriomètre ou appareil propre à mesurer le diamètre des petites particules à l'aide des franges de diffraction; influence de la forme des réseaux sur les spectres de diffraction; phénomènes produits par les raies très-fines gravées à la surface du verre et des métaux, les stries de la nacre, les plumes des oiseaux, l'irradiation des étoiles.....I. 165 à 188.

Diffraction des ondes sonores.....I. 201.

— de la lumière. Sur les causes de la diffraction, réfutation des idées de Newton par M. de Haldat.....IV. 1490.

— de la lumière dans le vide; recherches de M. Magnus....IV. 1492 à 1498.

— Inflexion de la lumière, recherches expérimentales et analytiques de Lord Brougham; une première diffraction rend une seconde impossible dans certains sens; observation critique de M. Arago; conseils. IV. 1498 à 1502.

Diastamomètre optique de M. Doppler: lunette pour mesurer les distances.....IV. 1750.

Dispersion de la lumière. En quoi elle consiste, I. 121. Comment elle s'explique dans les deux systèmes de l'émission et des ondulations; sa théorie et sa loi d'après M. Cauchy, elle est vérifiée par l'expérience de M. Powel et les nombres de Fraunhofer.....I. 122 à 127.

— Rapport de la dispersion avec la loi d'attraction et la distance des molécules de l'éther. Y a-t-il, oui ou non, dispersion dans le vide? Comment décider cette question. Rapport de la dispersion avec la polarisation; ce qu'on peut attendre de l'observation des étoiles périodiques. Résultat négatif.....I. 129 à 135.

— *Dispersion* et *décomposition* dans l'intérieur des corps solides et liquides; observations de sir D. Brewster; dispersion intérieure du spath fluor, du sulfate de quinine; différence entre cette dispersion intérieure et l'absorption. Polarisation de la lumière ainsi dispersée; causes de cette dispersion ou décomposition interne.....III. 1283 à 1295.

— Sur la lumière bleue transmise par une feuille d'or, généralité de ce phénomène; manière de l'observer.....III. 1293 à 1296.

— *Dispersion circulaire* du plan de polarisation. *Voyez* **Polarisation rotatoire et mobile.**

Éclat. Sa théorie par M. Oersted; réflexion régulière ou miroitante; réflexion diffuse ou décomposante; la première ne rend sensible que la lumière; la seconde montre les particules réfléchissantes elles-mêmes; la première réflexion produit l'éclat: ce qui rehausse l'éclat diminue la

Digitized by Google

réflexion décomposante; expériences diverses qui le prouvent. La lumière, produit de la réflexion régulière, est souvent polarisée; la lumière, produit de la réflexion décomposante, ne l'est pas, ou est polarisée à angle droit; celle-ci seule participe proprement à la sensation de couleur des corps ..... II. 495 à 580.
Élasticité de l'éther dans les divers milieux..... I. 84.
— Axes d'élasticité..... I. 87.
— dans les cristaux; comment on retrouve la surface d'élasticité... I. 96.
Émission de la lumière; système de l'émission..... I. 68.
Éther. Sa densité; la même dans tous les corps que dans le vide, suivant quelques auteurs..... I. 112.
— Distance approchée de deux molécules contiguës d'éther; un deux centième de la longueur d'ondulation..... I. 135.
Étoiles filantes. *Voyez* **Astéroïdes**.
Extinction. Coefficients d'extinction relatifs à l'espace et au temps.... 9.
Halos proprement dits : description, diamètre, explication.... I. 301 à 305.
— *Voyez* **Optique météorologique**.
Hémitropie. Sa définition; comment on la met en évidence à l'aide des anneaux de la polarisation chromatique..... I. 354 à 373.
Horloge polaire de M. Wheatstone, montrant l'heure par la polarisation..... IV. 1648.
Houppes de la lumière polarisée. Leur découverte par M. Haidinger; leur description; leur observation dans l'andalousite, la tourmaline, la cordiérite, le spath d'Islande, etc.; rapports des houppes avec la double réfraction. Houppes dans la lumière polarisée par réflexion, par double réfraction; spath d'Islande; par absorption, cordiérite, sulfate de baryte, mica. Déplacement des houppes, quand on les regarde à travers une lame mince de cristal, de mica, par exemple, que l'on fait tourner; que sont ces houppes..... I. 334 à 345.
— Histoire de la découverte des houppes. Caractères généraux du phénomène. Note de M. Silberman; observations critiques; les houppes ne sont pas dues à la structure du cristallin. Observations de M. Zokalski; théorie des houppes par M. Jamin; remarque importante de M. Herschel; en quoi les houppes sont un phénomène objectif, en quoi un phénomène subjectif. IV. 1897 à 4886. Houppes colorées dans la lumière rectilignement polarisée; nouvelles recherches de M. Haidinger: houppes du ciel bleu; houppes dans la vapeur d'eau; houppes à la surface des miroirs; renforcement de l'impression par l'excitation de la rétine; couleurs des houppes et espaces; conjectures sur la direction des vibrations de la lumière polarisée. Houppes dans les milieux doublement réfringents; direction des vibrations dans les diverses sortes de lumière; houppes vues à travers la loupe dichroscopique; déplacement des houppes vues à travers une lame de mica; caractère curieux de cette mobilité; houppes de la réflexion totale; houppes

Digitized by Google

vues à travers le parallélipipède de Fresnel; appareil pour le dichroisme artificiel. 1826 à 1868. Impressions complémentaires des couleurs, dans l'observation des houppes de la lumière polarisée ; appareil propre à mettre ces phénomènes en évidence. 1862. Modification des houppes colorées observation de M. Haidinger: les houppes indiquent la rotation du quarz..... IV. 1364.

Illuminateur de M. l'abbé Dutirou. Instrument donnant à volonté avec une lumière quelconque des rayons de réfrangibilités égales à celles des raies de Fraunhofer..... IV. 1769.

Images de Moser. Procédé de la vision et effets de la lumière sur les corps, par M. Moser; l'action chimique est répandue dans tout le spectre ; elle ne produit pas réellement de décomposition, elle n'attaque que la couche superficielle. Il n'y a pas de rayons chimiques à l'exclusion des autres. II. 796 à 803. Images de double réfraction, de polarisation chromatique, etc., obtenues photographiquement. 809. Différence entre les rayons chimiques et les rayons lumineux. 810. Impressionnabilité de la rétine. 811. Toute surface touchée par un corps quelconque acquiert la faculté de reproduire l'image de ce corps par la condensation d'une vapeur quelconque. II. 815. La lumière agit ainsi sur toutes les substances. 816. La condensation des vapeurs agit comme la lumière. 819. Le contact, l'action des vapeurs et la lumière produisent des effets analogues. 822. Deux corps quelconques mis en présence et suffisamment rapprochés impriment l'un sur l'autre leur image. 823. M. Moser croit que tous les corps sont lumineux par eux-mêmes. 823. Expériences de M. Riess, condensation de vapeur sur les surfaces touchées par l'électricité. 825. Etat latent de la lumière. Détermination de la couleur de la lumière latente. Rayons invisibles différents des rayons obscurs ou des rayons les plus réfrangibles. Action propre des différents rayons du spectre ; unité d'action constatée. Nivellement, faculté de niveler, caractères de cette action remarquable. Couleur latente de quelques vapeurs : la lumière latente de la vapeur de mercure est jaune ; pour la vapeur d'iode, c'est le bleu, comme pour la vapeur d'eau. 827 à 846. Remarques sur la lumière invisible ; lumière visible et invisible ; il n'est aucun effet produit par une de ces lumières qui ne puisse aussi bien être produit par l'autre. 846 à 850. Différence entre les rayons lumineux et les rayons calorifiques ; effets alternatifs des rayons chimiques ; images successives. Expérience et image de Rauch ; faits imprévus ; influence d'une couche d'huile. Remarques critiques. 850 à 854. Expériences et observations sur la lumière invisible du professeur Moser et réfutation par Waidele. L'action du contact, de la condensation des vapeurs, etc. s'expliquent très-naturellement sans l'intervention de la lumière latente. Etats différents de la surface des plaques ; absorption du gaz par ces surfaces ; atmosphère des corps ; expériences. Les faits observés par M. Moser ont pour

Digitized by Google

effet l'action des atmosphères des corps et l'absorption des gaz. Différence essentielle d'action entre le contact et la lumière ; explication du nivellement. Accord entre les effets du contact et ceux de la condensation des vapeurs ; elles se ramènent toutes deux à l'absorption de gaz modifiant la surface de la plaque ; ainsi s'expliquent tous les phénomènes de la prétendue lumière invisible. 854 à 875. Confirmation de la découverte de Moser: image des boîtes des montres, image de Rauch, image des poutres d'un grenier. 877. Réfutation de M. Moser, par M. Fizeau. 879. Limon atmosphérique de M. Daguerre. 882. Réclamation sans fondement de M. Daguerre; réponse de M. Moser à MM. Fizeau et Daguerre. 883. Nouvelle expérience tendant à prouver que la vapeur de mercure renferme de la lumière latente. 885. Réponse de Moser à M. E. Becquerel; conseils à l'adresse de ce jeune physicien. 886. Action des rayons colorés sur l'iodure d'argent; nouvelle réponse de M. Moser à MM. Herschel et Becquerel; M. Moser affirme qu'il ne s'est pas trompé. 887 à 891. Note sur les expériences de Moser; moyens de les reproduire; explication qu'on en peut donner. 891 à 895. Nouveau moyen pour obtenir les images de Moser, par M. Bertot. III. 939. Histoire curieuse d'une image de Moser... III. 941.

Images électrographiques. Modifications produites à la surface de diverses substances par l'électricité; note de M. Riess. Figures atmo-électriques. III. 911. Images électriques de M. Karsten : une médaille frappée par l'électricité imprime son image sur le verre. Nature et circonstances du phénomène; condition de la formation de l'image. 913 à 918. Note complémentaire. 910. Différence entre les actions des deux électricités; images positives et négatives; identité des images électrographiqnes avec les images de Moser. Comparaison des effets de la lumière et de l'électricité ; images produites par un courant galvanique ; images de chaleur. III. 916 à 925. Note sur les taches circulaires de Priestley, par M. Matteucci. 925. Images électriques de M. Masson, obtenues sur des électrophores. 925 à 928. Formation des images de Moser au moyen de l'électricité par M. Morren ; images électriques et hydrothermiques. 928 à 932. Coloration par l'électricité des papiers impressionnables à la lumière ; nouvelle classe d'empreintes électriques ou électrographiques, par M. Pinaud. 932. Etude des images électriques par M. Riess; dessins électriques primaires; dessins électriques secondaires; classification des images..... III. 936.

Images thermographiques ou produites par la chaleur. Premières expériences de M. Knorr. Sous l'influence de la chaleur, les corps impriment leur image sur des surfaces polies; circonstances principales du phénomène. III. 898. Proposition générale de M. Knorr; condition dans les quelles un corps imprime son image sur un autre. 900. Expériences : diverses méthodes à employer pour réussir. 901. Confirmation des principes posés par M. Waidele. 904. Thermographie ou l'art de transporter, au moyen de la chaleur, les dessins et caractères imprimés du papier sur mé-

Digitized by Google

tal; mémoire de M. Hunt; expériences; intervention de l'électricité; influence de la couleur; intervention de la vapeur de mercure; copie de feuilles imprimées; procédé à suivre; différence entre les actions des vapeurs de mercure et d'iode. 905 à 910. Prétendues images de chaleur, réfutation de MM. Knorr et Hunt, remarque critique. 910. Note sur les images de la chaleur par M. Karsten..... III. 924.

Indice de réfraction. Comment il est lié avec la durée des vibrations et la longueur d'ondulation. *Voyez* **Réfraction**..... I. 124.

Indices de réfraction des raies fixes dans le spectre solaire formé par la lumière qui a traversé des milieux différents.....III. 1245.

Indice de réfraction d'une lame ou plaque transparente.. .....III. 1243.

Inflexion de la lumière. *Voyez* **Diffraction.**

Inflexion de la chaleur rayonnante. *voyez* **Rayons calorifiques.**

Intensité de la lumière. Intensité totale des rayons réfléchis et réfractés, intensité des rayons composants polarisés parallèlement et perpendiculairement au plan d'incidence. Lois de Fresnel.....I. 111 à 113.

Intensité mesurée par la force vive, ou le produit de la demi-masse par le carré de l'amplitude de la vibration.....I. 113, 114.

Interférences de la lumière. Comment on peut les concevoir par la superposition d'ondes qui s'accordent ou sont opposées. I. 137. Interférences des ondes liquides, marées singulières; des ondes sonores, silence; des ondes lumineuses, obscurité.....I. 137 à 140.

— découvertes par Grimaldi; mises en évidence par Young; explication grossière à l'aide des ondes liquides; énoncé du phénomène, sa description; bandes alternativement sombres et brillantes, bande centrale; elles dépendent de la différence des chemins parcourus. Détermination de la position des bandes; comment elles conduisent aux longueurs d'ondulation.....I. 141 à 147.

— Expérience de Fresnel; interférences produites par les deux miroirs; parallélisme des bandes, leur symétrie, leur forme hyperbolique, leur position exacte. I. 147 à 149. Modification apportée par M. Lloyd: interférence produite par la rencontre du rayon direct et du rayon réfléchi.....I. 149.

— Interférences avec le biprisme.....I. 149.

— Déplacement des bandes d'interférence par l'interposition d'une plaque: preuve éclatante de la vérité du système des ondulations..... I. 149, 150.

— Comment le principe des interférences explique la propagation rectiligne de la lumière.....I. 155 à 157.

— On peut amener à interférence des rayons partis d'une même source, mais séparés ensuite de plusieurs centimètres. I. Additions et corrections; fin du 1er volume.

— Interférences des rayons polarisés suivant qu'ils sont parallèles, obliques ou rectangulaires. La non-interférence de deux rayons polarisés à angle droit est une preuve évidente de la vérité du système des ondulations; conditions d'interférence des rayons polarisés.....I. 157 à 159.

Digitized by Google

Interférences. Application des phénomènes d'interférence à la solution de quelques problèmes de physique et de météorologie; comment au moyen du déplacement des franges on peut déterminer les pouvoirs réfringens, la température, la pression atmosphérique. Baromètre-thermomètre-réfracteur interférentiel, de M. Arago.....I. 159 à 163.
— Comment en partant des interférences on explique le phénomène de la scintillation .....I. 165.
— Nouveau cas d'interférence observé par M. Powell, plaque à faces parallèles placée au sein d'un prisme liquide de pouvoir réfringent convenable; théorie de M. Stokes, accord complet avec l'expérience; nombre des bandes entre deux rayons de longueurs d'onde données..... IV. 1443 à 1448.
— Nouvelles interférences observées par M. Brewster, spectre solaire observé à travers les bords d'une lame de mica; défi jeté à la théorie des ondulations; théorie de M. Airy; discussion; jugement de M. Powell; imagination de M. Brewster, réponse à ses objections....IV. 1448 à 1455.
— Nouvelle expérience d'interférence de M. Plücker: superposition d'une plaque concave de cristal de roche et d'une plaque à faces planes parallèle à l'axe, avec une plaque de mica d'une demi-longueur d'onde: anneaux qui se dilatent ou se rétrécissent; explication théorique; accord avec l'expérience..... IV. 1455 à 1461.
— Phénomènes des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche; recherches de MM. Fizeau et Foucault; interférences produites par l'appareil des miroirs; différence de marche de 1960 longueurs d'onde; interférences régulières; interférences produites par réflexion sur des lames minces, par double réfraction; différence de marche de 1737 ondulations.....IV. 1461 à 1470.
—, Analogie de ces expériences avec celles de M. de Wrede; différence à l'avantage des physiciens français .....I. 553 à 558.
— Lignes d'interférences apparaissant dans le spectre produit par un rayon réfléchi à la surface d'une lame de mica cylindrique; expérience de M. de Wrede; appareil de M. Soleil; comment on les fait disparaître.....II. 559.
— Bandes d'interférences parallèles jaunes et noires des lames de mica; observation de M. Haidinger; analogie avec les bandes de M. Talbot et de M. de Wrede.....IV. 1470 à 1472.
— Pourquoi la vitesse de la terre ne modifie-t-elle pas les phénomènes d'interférence? Expérience de M. Babinet; solution de M. Cauchy... II. 602.
— des rayons calorifiques. *V.* **Rayons calorifiques.**
— des rayons chimiques. *V.* **Rayons chimiques**..... I. 687.
Iriscope. Quel est son véritable inventeur, sa construction..... I. 825.
Irradiation. Définition; existence du phénomène; cause de l'irradiation de l'œil; ses circonstances principales Explication des faits; irradiation oculaire; irradiation observée à travers les instruments astronomiques. Objection de M. Arago; réponse; expériences décisives.....II. 598 à 612.

Digitized by Google

Kaléidophone de M. Wheatstone..... II. 364.
Lames minces. *Voyez* **Couleurs des lames minces.**
Lévogyre. Plaque faisant tourner le plan de polarisation à gauche. I. 262.
Longueur d'onde lumineuse : comment on la déduit du spectre des réseaux. I. 185. Calculée au moyen des bandes d'interférence. I. 117. Ses relations avec la couleur et la réfrangibilité ; elle augmente du rouge au violet. I. 122. Sa valeur pour les principales raies du spectre. 126. Son rapport avec la distance de deux molécules d'éther..... I. 135. 136.
— Dans le son très-petite, par rapport au rayon de la sphère d'action des molécules; dans la lumière, de même ordre, que ce rayon..... I. 123.
— Des rayons calorifiques. *Voyez* **Rayons calorifiques.**
Loupe dichroscopique de M. Haidinger, son emploi pour la mise en évidence des houppes de polarisation..... I. 339.
— Sa construction, son excellence ..... IV. 1299.
Lueur magnétique de M. Colla ; remarque critique..... II. 424.
Lumière : blanche homogène, isolée sur tous les points du spectre. II. 463.
— *des étoiles.* Anneaux colorés auxquels elle donne naissance quand on l'observe avec une lunette de pouvoir grossissant considérable..... I. 187.
— *solaire.* Constitution du soleil ; hypothèses diverses ; diverses apparences des différentes parties ; sa température ; sa composition. *Voyez* **Spectre solaire**..... II. 456 à 459.
— *zodiacale.* Description du phénomène ; hypothèses sur sa nature. II. 404. Difficultés ; questions posées par M. Arago..... II. 409. 410.
— *Nature de la lumière.* Idées sur les vibrations lumineuses, par M. Faraday ; centres de force et lignes de force. Remarques critiques de M. Airy..... III. 1147 à 1159.
Magnétisation de la lumière. *Voyez* **Rayons magnétiques.**
Miscellanea. Analyse des mémoires, notes et rapports de M. Biot. IV. 1732. à 1735. Analyse des mémoires, notes et rapports de M. Cauchy. IV. 1735 à 1749. Un mot sur les mémoires de M. Laurent. IV. 1749. Perfectionnement réels apportés à la science des appareils d'acoustique, d'optique et d'astronomie optique ; recherches de M. Doppler ; diastasimètre optique ; moyens de rendre sensibles et de mesurer les mouvements périodiques d'une très-grande vitesse ; poli des miroirs ; appareil pour mesurer les moindres déviations du rayon lumineux ; photomètre ; méthode pour déterminer la vitesse d'ondulation des molécules d'air dans le son ; déviation rotatoire ; vision ; astronomie optique ; solution d'un grand nombre de problèmes..... IV. 1749 à 1755.
Micromètre oculaire à double réfraction de M. Arago, sa description, son usage..... IV. 1325.
Microscope gigantesque de M. Doppler..... IV. 1751.
Mirage par une forte brise..... IV. 1651.
Miroir. Déviation que sa rotation imprime au rayon réfléchi..... I. 131.

Digitized by Google

Miroir. Cas où deux rayons tomberaient l'un après l'autre sur le miroir tournant. Application à la détermination des vitesses relatives de deux rayons à travers l'air et à travers l'eau. Expérience proposée par M. Arago. I. 150 à 155. Solution de M. Foucault..... IV. 1763.
— Moyens de rendre le poli des miroirs beaucoup plus parfait. . IV. 1751.
Nacre de perle. Ses reflets sont produits par les stries des couches successives; comment M. Brewster transporta les stries sur la cire et obtint les mêmes effets..... I. 187.
Nœuds fixes du son..... I. 203.
— mobiles de la lumière..... I. 203.
Ombre. L'ombre réelle est plus large que l'ombre géométrique; elle est sillonnée par des franges lumineuses; conditions de ces franges.... I. 166.
— **colorées.** Description du phénomène. II. 576. Explication..... II. 592.
Onde lumineuse: ce qui la constitue; comment la concevoir. I. 69. Comparaison avec l'onde sonore..... 70.
— plane; onde curviligne enveloppe de toutes les ondes planes..... I. 2.
— *Surface de l'onde:* son équation, ses cas particuliers..... I. 88 à 92.
— Ses points singuliers, cône tangent; cercle de contact..... I. 93.
— sa construction par la méthode de M. Plücker..... I. 99.
— Comment M. Cauchy arrive à son équation..... I. 100.
— Superposition des ondes; ce qui en résulte quand les vibrations s'accordent, ou sont opposées totalement ou en partie; ondes liquides, sonores, lumineuses; comment elles peuvent interférer. Marées singulières du port de Batsha..... I. 136 à 140.
— Ondes partielles et secondaires donnant naissance par interférence avec l'onde principale aux franges de diffraction..... I. 174.
— Perte d'une demi-ondulation dont il faut tenir compte dans la position des lignes d'interférence; comment cette perte s'explique..... I. 159.
— Perte d'une demi-ondulation dans les anneaux colorés..... I. 216.
— Expérience de M. Babinet..... I. 218.
— Comment les ondulations de l'éther se font sentir à l'œil..... II. 621.
Optique météorologique. *Transparence de l'atmosphère*; diaphanomètre..... I. 290.
Couleur bleue du ciel; polarimètre, cyanomètre..... 291
Crépuscule. Ses teintes; comment on pourrait en déduire la hauteur de l'atmosphère; limite assignée par M. Biot; objection..... 292.
Réfraction de l'atmosphère..... 160.
Scintillation des étoiles..... 164.
Arc-en-ciel. Calcul de la déviation; son expression en fonction de l'indice de réfraction; arc-en-ciel des veines fluides, du verre, des cristaux doublement réfringents. Arcs secondaires ou surnuméraires; théorie de M. Airy vérifiée par M. Miller; arcs des fils méplats..... 293 à 298.
Couronnes et halos. Couronnes; leur nature; leur cause; loi de leur diamé-

Digitized by Google

tre ; couronnes artificielles au moyen de poussière, de globules, de fils opaques entrecroisés ; principe paradoxal, donnant la clef de tous ces phénomènes ; caractères de ce genre particulier d'interférences ; application au fait observé par M. de Saussure, à l'éclairement des globules qui nagent dans l'air, aux couleurs des fils d'araignée, des fils minces de métal ; couronnes formées par les nuages et le brouillard ; moyen d'observer celles du soleil. *Anthélies*, couleurs vues par transmission rétrograde ; auréoles lumineuses et colorées ; observations faites dans les poudrières ; théorie des anthélies. *Halos proprement dits.* Définition ; description ; diamètre des cercles ; leur cause, leur théorie ; explication ; différentes positions des prismes de glace, influence des nombres ; accord de la théorie et de l'expérience ; halos ordinaires et extraordinaires..... 301 à 305.

Cercle parhélique. Définition, description, explication ; cercle horizontal ; ligne verticale de lumière ; halo lunaire ; pourquoi le phénomène des halos est-il le plus souvent incomplet ; cercles divers..... 305 à 307.

Parhélies. Définition ; théorie donnée par M. Bravais..... 307 à 308.

Arc circumzénithal. Description ; théorie..... 309.

Arc tangent extraordinaire..... 310.

Halo composé. Sa description, sa décomposition ; reproduction artificielle au moyen de cristaux fibreux, de cristallisations, etc. ; expériences de M. Brewster..... 310 à 314.

Polarisation de l'atmosphère. Sa découverte ; point neutre de M. Arago ; cause de ce phénomène ; point neutre de M. Babinet ; influence des nuages et de la surface du sol..... 316 à 317.

Rayons crépusculaires. Définition, cause..... 316.

Bandes polaires ; description ; cause ; observations faites à Paris et à Condrieux..... 316 à 318.

Phénomènes atmosphériques ; nature des parties de l'atmosphère qui produisent la réflexion de la lumière ; étude de M. Clausius ; vésicules d'eau ; masses sphériques transparentes nageant dans l'air. IV. 1595 à 1598.

Couleur bleue du ciel, aurore, ciel rouge au coucher du soleil ; explication infiniment probable de M. Clausius..... 1598 à 1602.

Arc-en-ciel ; arcs de premier, de second, de troisième ordre ; mesure des diamètres ; circonstances physiques du phénomène ; reproduction artificielle ; arc-en-ciel blanc ; arcs surnuméraires ; leur théorie, description ; difficultés ; instructions sur l'observation de l'arc-en-ciel avec ou sans instruments..... IV. 1603 à 1621.

Arc-en-ciel sur le brouillard..... 1621.

Phénomènes optiques, auxquels donnent lieu les nuages à particules glacées. Étude de M. Bravais ; formules générales de l'illumination de l'atmosphère par les cristaux de glace ; reproduction artificielle des principaux phénomènes ; remarques générales sur les halos, leur explica-

Digitized by Google

tion ou leur théorie; différents groupes de cristaux; explication des diverses parties du météore; halos, parhélies, arcs tangents, cercle parhélique, etc., etc.; formes ordinaires des halos; polarisation de la lumière des halos..... 1622 à 1638.
Polarisation de l'atmosphère; recherches de sir David Brewster; divers points neutres de MM. Arago, Babinet, Brewster; maximum de polarisation du firmament; lignes d'égale polarisation..... IV. 1639 à 1647.
Observation du point neutre de M. Brewster, par M. Babinet... IV. 1646.
Horloge polaire de M. Wheatstnoe, montrant l'heure par la polarisation du ciel bleu; modèle de M. Soleil..... IV. 1648.
Phénomènes divers; mirage par une forte brise; ombres atmosphériques; observations de M. Wartman..... 1651. 1653.
Phénomènes célestes; chapelets dans les éclipses annulaires; note de M. Powell..... IV. 1654.
Lumière de la lune dans l'éclipse totale; note de M. Babinet..... 1656.
Phénomènes terrestres; couleur de l'eau des glaciers; controverse de MM. Durocher et Martins..... 1652.
Couleurs accidentelles de l'eau, par M. de Haldat..... 1659.
Lumière bleue de la grotte d'azur de Capri; étude de M. Melloni.. 1660.
Couleur des eaux de la mer; discussion de M. Arago..... 1662.
Optique minéralogique; *réfraction simple.* Indices de réfraction; leurs limites; la couleur les modifie et change probablement la loi de la réfraction; ils varient avec le mode de cristallisation; liaison de la réfraction avec la nature des corps; prévision de Newton; déviation *minimum.* I. 322, 323.
— *Double réfraction.* Description, lignes neutres ou axes optiques; loi de Brewster, qui lie la double réfraction au système de cristallisation; elle n'existe pas dans les corps réguliers; raison de ce fait donnée par M. Biot; double réfraction dans les cristaux à un axe; doute de M. Maccullagh; expérience décisive de M. Brewster; double réfraction dans les cristaux à deux axes: les deux rayons sont réfractés extraordinairement; angles des axes optiques, leur écartement, comment on peut les mesurer; double réfraction attractive et répulsive, ou positive et négative; comment les mettre en évidence. Les axes optiques changent de position avec la couleur de la lumière, ainsi que sous l'effet de la compression et de la chaleur; axes d'attraction ou lignes d'élasticité, leur liaison avec les axes optiques; confirmation apportée par les expériences de Savart..... I. 324 à 331.
— *Polarisation.* Angle de polarisation complète; loi de Brewster: dépend de la surface des milieux; phénomènes particuliers au diamant; polarisation inséparable de la double réfraction; comment on analyse les rayons transmis; propriétés remarquables de la tourmaline; polarisation mise en évidence par les houppes de M. Haidinger..... 331 à 334.
— *Polarisation chromatique.* Description; curieux effets obtenus avec le sulfate de chaux; phénomènes des cristaux à un axe; croix noire ou blanche et an-

Digitized by Google

neaux concentriques; superposition de deux cristaux positifs et négatifs. Phénomènes des cristaux à deux axes; double série d'anneaux colorés; bandes noires; le nombre et l'intensité des anneaux varie avec l'épaisseur; anneaux complémentaires. La lumière homogène donne des anneaux de même couleur; le diamètre varie avec la couleur quelquefois d'une manière énorme; la succession des couleurs n'est plus celle des anneaux de Newton. Le genre de la double réfraction varie quelquefois avec la couleur; le cristal aussi est alors tantôt à un axe, tantôt à deux axes; explication donnée par Brewster; particularités du cristal de roche; polariscope de Savart; cristaux taillés en lames parallèles à l'axe; bandes hyperboliques; lames de cristal de roche à axes noires; hémitropie mise en évidence par le système des anneaux. La lumière polarisée peut quelquefois être remplacée par de la lumière ordinaire; emploi de la lumière homogène pour mettre en évidence dans tous les cas les anneaux; forme des courbes; moyen facile de mesurer les hyperboles; liaison intime des caractères optiques et cristallographiques; effet de la compression et de la chaleur sur les anneaux et les teintes; anomalie signalée par M. Babinet; explication probable; lois observées par M. Rudberg; rapports de la réfrangibilité, de la double réfraction et de l'angle compris entre les axes; nouvelles anomalies; émeraude, zircon, beryl, borate de magnésie, améthyste, analcime, apophyllite..... I. 348 à 359.

—*Polarisation lamellaire* étudiée par M. Biot; dénomination impropre; double réfraction observée dans des cristaux du système régulier; couleurs observées dans les cristaux d'alun. Comme elles se modifient par l'interposition d'une lame de chaux sulfatée; le cristal est formé de lames superposées, ces lames ne communiquent pas la polarisation chromatique: elles exercent cependant une action. Propriétés comparatives du sel gemme: on peut de plus le tremper; chaux fluatée, amphygène, ammoniaque muriatée, etc.; apophyllite; son axe de double réfraction attractive, modifications qui en résultent pour la lumière polarisée; imitation au moyen d'une plaque d'alun recouverte d'une lame de mica attractif. Anciennes observations de M. Brewster; conjectures de MM. Biot et Dufresnoy; la polarisation lamellaire est-elle une action *sui generis*?..... I. 359 à 370.

—*Polarisation rotatoire*. Faits généraux observés par M. Arago; rotation du plan de polarisation; polarisation complète du rayon émergent; rotation proportionnelle à la réfrangibilité; loi de M. Biot; différence dans le sens de la rotation du quartz; faces plagyédriques à droite et à gauche; loi d'Herschel. Dissymétrie cause d'une propriété physique particulière; plaque de quartz donnant les deux rotations; observations de M. Soleil; composition de l'améthyste. Cristaux jumeaux; observations de M. Rose; ils sont toujours composés de deux cristaux de même nom, dextrogyres ou lévogyres. Différence entre l'acide tartrique et l'acide paratartrique; observation de

Digitized by Google

M. Mitscherlich ; raison probable de cette différence ; effet des fluides impondérables ; observations diverses de M. Babinet ; dépolarisation produite par l'hyalite, la poudre de cristal de roche, de verre, ou de spath fluor nageant dans l'huile ; anomalie remarquable, influence de la chaleur..... I. 370 à 378.

— *Pouvoir dispersif.* Caractère minéralogique important ; nature du phénomène ; rapport des dispersions ; indice moyen de réfraction ; variations dans le passage d'une substance à une autre ; rapport avec le pouvoir réfringent ; transmission du pouvoir réfringent aux corps composés ; dispersion résultant de plus d'une réfraction : elle n'est pas constante ; achromatisme avec une seule substance ; découverte de M. Amici... I. 378 à 380.

Absorption sans polarisation. Le rayon transmis est neutre : comment observer ce genre d'absorption ? Changement de couleur suivant qu'on éclaire avec tel ou tel rayon ; le sulfate de chrome rend une bougie invisible..... I. 380.

Absorption avec polarisation. Loi de M. Babinet ; différence entre l'action des cristaux attractifs et répulsifs ; la nature de la lumière transmise varie d'une espèce et même d'une variété à l'autre..... I. 381.

Dichroïsme, polychroïsme. Nature du phénomène ; couleur différente suivant que l'on regarde dans le sens de l'axe ou des axes, ou dans une autre direction. La lumière transmise suivant l'axe n'est pas polarisée ; phénomènes particuliers à la cordiérite ; teintes multiples ; observations de divers physiciens ; propriété commune aux cristaux biréfringents colorés ; comment se compose la couleur du cristal. I. 381 à 384. IV. 1565.

Caractères analogues aux phénomènes des réseaux ; astéries, couronnes, cercle parhélique. Astéries par réflexion et réfraction ; explication au moyen des réseaux ; astéries artificielles ; existence réelle des petites fibres comparables aux stries des réseaux, en rapport avec les astéries. Chatoiement superficiel ; corindon, harmophane, hypersthène, labrador, nacre de perle ; c'est un phénomène analogue aux réseaux ; distance des raies. Couronnes produites par les fibres des cristaux ; diamètre des couronnes : on en déduit la grosseur des fibres ; cercle parhélique donné par les cristaux fibreux ; phénomènes remarquables du grenat ; le cercle s'obtient en taillant le cristal perpendiculairement à la direction des fibres ; les fibres parallèles considérées comme caractère minéralogique ; application au saphir, au beryl, à l'émeraude, au disthène, au mica, etc..... 384 à 392.

Chatoiement des faces cristallines ; nouvelle propriété de la lumière manifestée par le chrysammate de potasse ; deux faisceaux de lumière polarisés à angle droit ; observation de M. Brewster..... IV. 1558.

Chatoiement métallique de l'hyperstène ; observation de M. Haidinger..... 1560.

Rapports du chatoiement superficiel orienté avec l'absorption de la

Digitized by Google

lumière dans les cristaux colorés; recherches de M. Haidinger : la direction de polarisation du chatoiement coïncide avec la direction de polarisation du rayon plus absorbé des cristaux à double réfraction..... IV. 1561 à 1565.

Parallélipipède de Fresnel; son emploi pour mettre en évidence la polarisation circulaire..... I. 119.

Parhélies. Défi ; théorie donnée par M. Bravais. *Voyez* **Optique météorologique.**

Phénakisticope de M. Plateau..... II. 570.

Phosphorescence. *Voyez* **Rayons phosphorogéniques.**

Photographie. Son histoire. Invention de la chambre noire, par Porta. Perfection incomparable des images engendrées par cet instrument; action de la lumière sur le chlorure d'argent, en 1565. Silhouettes de Charles; silhouettes de Wedgwood en 1802; note curieuse de ce physicien anglais; priorité qui lui appartient. Essais photographiques de M. Niepce; ses succès en 1827. Solution complète du magnifique problème, par M. Daguerre. Annonce de la découverte par M. Arago. Réclamation de M. Talbot. Réclamation de M. Bauer en faveur de M. Niepce. Invention de la calotypie ou photographie sur papier, par M. Talbot. Récompense nationale accordée à MM. Daguerre et Niepce. Perfectionnement des objectifs achromatiques; substances accélératrices; diminution énorme dans le temps nécessaire à l'opération. Fixation des images, par M. Fizeau. Appareil panoramique de M. Martens; reproduction galvano-plastique des épreuves, par M. Fizeau. Transformation des épreuves en planches gravées..... II. 693 à 708.

— *Appareils de la photographie* : objectif, chambre noire, plaques, boîte à iode, boîte à mercure..... II. 708.

— *Procédés de la photographie.* Huit opérations principales : 1° décaper et polir; 2° ioder; 3° soumettre à l'action des substances accélératrices; 4° exposer à la lumière dans la chambre obscure; 5° faire paraître l'image par l'action des vapeurs de mercure; 6° laver la plaque; 7° fixer l'image au chlorure d'or; 8° sécher la plaque. Quatre opérations secondaires : 9° transformer l'épreuve en planche gravée; 10° reproduire par la galvanoplastie ou recouvrir de divers vernis métalliques; 11° colorer l'épreuve surtout s'il s'agit d'un portrait; 12° décalquer l'image. Description étendue de ces opérations..... II. 710 à 746.

— *Calotypie* ou photographie sur papier. Histoire. M. Bayard, ses brillants essais; il n'a pas su sauvegarder ses droits. M. Talbot, ses succès. Procédés de calotypie; épreuve négative, sa formation; épreuve positive : comment l'obtenir..... II. 746 à 755.

— Calotypie. Méthode chimique et pratique de photographie sur papier, de M. Guillot-Saguay..... IV. 1716.

— *Théorie* de la formation des images daguerriennes; couche infiniment

Digitized by Google

mince. Théorie mécanique ; théorie chimique de MM. Choiselat et Ratel ; comparaison. Note de M. Fyfe. Formation du sous-iodure d'argent, expliquée par M. Gaudin ; effet négatif de la lumière rouge ; note de M. Claudet..... II. 755 à 774.

Photographie. Explication des phénomènes de la photographie. III. 946.

— Son histoire rectifiée ; démonstration des droits de priorité de Niepce..... IV. 1686 à 1688.

— Recherches de M. Claudet sur la théorie des principaux phénomènes de la photographie, dans le procédé de Daguerre ; quelle est l'action de la lumière sur la couche sensible? Mode et genre d'action de la vapeur de mercure ; quels sont les rayons efficaces? Foyer visuel et foyer photogénique ; variations incessantes de ce dernier foyer; photographomètre ; appareil de Knight pour mesurer la distance des deux foyers. IV. 1689 à 1695.

— *Beautés* de la photographie ; ce n'est cependant pas de l'art ; ce qui lui manque..... II. 774.

— Propriétés des plaques galvaniques de cuivre obtenues au moyen des images daguerriennes, par M. Strehlke ; image tour à tour visible et invisible..... 895.

— Thitonographie, ou art de multiplier les épreuves daguerriennes ; copies des épreuves au moyen de la colle de poisson..... III. 945.

— *Branche nouvelle de la photographie*, propriétés singulières de l'iode, du phosphore, de l'acide azotique, etc.; recherches de M. Niepce de Saint-Victor; l'iode se porte sur les noirs à l'exclusion des blancs; sur les reliefs ou les pointes à l'exclusion des creux; moyen d'obtenir des dessins; phosphore, acide azotique, etc., étudiés au même point de vue..... IV. 1700 à 1707.

— Nouveau procédé de photographie sur verre au moyen de l'albumine ; recherches de M. Niepce de Saint-Victor; méthode pour préparer les plaques, épreuves obtenues ; perfectionnements, rapidité extrême..... IV. 1708 à 1713.

— Recherches de photographie sur verre, de M. Blanquart-Évrard, de Lille ; manipulation, succès; réclamation en faveur de MM. Talbot et Niepce de Saint-Victor..... IV. 1713 à 1715.

— Images photochromatiques de M. Edmond Becquerel ; rapport de M. Regnault ; couche sensible telle que les divers rayons du spectre y impriment leurs couleurs ; historique, préparation de la plaque, effets obtenus..... IV. 1694 à 1700.

— Méthode pour reproduire à volonté dans une image daguerrienne les tons brillants et obscurs ; recherches de MM. Belfied-Lefèvre et Foucault..... IV. 1717.

Photographomètre de M. Claudet. *Voyez* **Photographie.**

Photomètre de M. Wheatstone..... II. 565.

— de M. Doppler..... IV. 1751.

Digitized by Google

Pile de glace. Ses propriétés polarisantes ; cristaux faisant fonction de piles de glace..... I. 107.
Plagyèdres. Faces plagyédriques ; leur liaison avec le sens de la polarisation rotatoire..... I. 372.
Pléochroïsme des cristaux ; recherches de M. Haidinger; mode d'observation ; dichroïsme des cristaux à un axe, trichroïsme des cristaux à deux axes ; cordiérite ; andalousite ; conclusions ; rapports du pléochroïsme avec l'absorption ; lois générales des phénomènes, causes de l'absorption. *Voyez* **Optique minéralogique**..... IV. 1565 à 1578.
— de l'améthyste ; bandes et couleurs diverses..... IV. 1578 à 1587.
Points neutres de M. Arago, de M. Babinet. *Voyez* **Optique météorologique**..... I. 314 à 315.
Polarimètre. Instrument par lequel on mesure le degré de polarisation..... I. 291.
Polarisation de la chaleur. *Voyez* **Rayons calorifiques.**
Polarisation de la lumière. Houppes de la lumière polarisée. *Voyez* **Houppes colorées.**
— *Polarisation rectiligne* par réfraction découverte par Huyghens.....I. 100.
— Côtés et pôles du rayon polarisé.....I. 101.
— par réflexion découverte par Malus.....I. 102.
— Plan de polarisation. Réflexion du rayon polarisé, caractère du rayon rectilignement polarisé, angle de polarisation, loi de Brewster, la liaison de cet angle avec l'indice de réfraction.....I. 100 à 105.
— Loi du carré du cosinus découverte par Malus, vérifiée par Arago..I. 105.
— Décomposition d'un rayon ordinaire en deux rayons polarisés à angle droit.....I. 105.
— Polarisation partielle, par réflexion, par transmission ; pile de glace, cristaux faisant fonction des piles de glace.....I. 109 à 108.
— Son explication comparative dans le système de l'émission et la théorie des ondulations.....I. 108.
— Caractères distinctifs de la polarisation rectiligne, circulaire, elliptique.....I. 110.
— Comment on conçoit la polarisation en partant de la surface de l'onde.....I. 111.
— Intensité des rayons polarisés parallèlement et perpendiculairement au plan d'incidence ; intensité totale des rayons réfléchis ou réfractés. Lois de Fresnel, de Maccullagh, de Neuman.....111 à 115.
— Déplacement ou déviation du plan de polarisation du rayon réfléchi ou réfracté après une ou plusieurs réflexions, après une ou plusieurs réfractions.....I. 115 à 117.
— Polarisation par double réfraction. Les rayons ordinaire et extraordinaire sont polarisés à angle droit.....I. 121.
Polarisation dans la réfraction conique.....I. 121.

Digitized by Google

Polarisations Conditions d'interférence des rayons polarisés. Pourquoi deux rayons polarisés à angle droit n'interfèrent pas; comment on peut les amener à interférer, à quelles conditions ils interfèrent, I. 253. Preuve nouvelle de la vérité du système des ondulations.....I. 157 à 159.

Étude de la polarisation de la lumière des anneaux colorés, par M. Arago.....I. 221 à 224.

Anneaux colorés vus dans la lumière polarisée et sous l'angle de polarisation.....I. 227.

— Polarisation de l'atmosphère : sa loi, sa cause, point neutre de M. Arago, point neutre de M. Babinet; influence des nuages, de la surface du sol. *Voyez* **Optique météorologique**.....I. 314, 315.

— produite par les cristaux. Dépend de la surface des milieux, loi de Brewster, phénomènes particuliers au diamant; polarisation inséparable de la double réfraction : moyen d'analyser les rayons transmis; propriété de la tourmaline.....334 à 334.

— par un simple cube de verre; observations faites avec ce cube par M. Merz.....I. 345 à 348.

— Polarisation lamellaire : mauvaise dénomination; couleurs observées dans les cristaux d'alun. Lames superposées ne produisant pas la polarisation chromatique. Sel gemme trempé. Apophyllite; son axe de double réfraction négative; cristaux divers; l'action des lames est-elle une action *sui generis*?.....I. 359 à 370.

— Direction des vibrations lumineuses par rapport au plan de polarisation: expériences de M. Babinet; elles ne prouvent pas; réponse de M. Cauchy, les vibrations sont perpendiculaires au plan de polarisation. IV. 1366 à 1370.

— Phénomènes auxquels donne naissance la lumière polarisée quand on fait tourner son plan de polarisation; cas de la polarisation rectiligne, circulaire, chromatique; le rayon redevient en apparence un rayon de lumière naturelle. Si l'on éclaire par une lumière instantanée, la polarisation apparaît de nouveau. Expériences nombreuses.....IV. 1376 à 1382.

—Dépolarisation de la lumière; expériences de M. Dove; la lumière dispersée par une surface rude n'est plus polarisée.....IV. 1382.

— Moyen de reconnaître expérimentalement la direction des vibrations par rapport au plan de polarisation.....IV. 1388.

— dans les cas de dispersion intérieure observés par M. Brewster; polarisation en tout sens, *quaquâ-versus*.....III. 1283 à 1293.

— *circulaire*. Rayon polarisé circulairement transformé par reflexion en un rayon rectilignement polarisé.....I. 115.

— Quand la polarisation circulaire se transforme en polarisation elliptique.....I. 118.

Ses caractères.....I. 119.

— Lois de la polarisation complète et incomplète, découvertes par M. Arago. Application à la photométrie. I. Additions et corrections, fin du volume.

Digitized by Google

— *Polarisation elliptique.* Note de M. Dale : aucune substance ne polarise complètement la lumière ; théorie de M. Green, réclamation en faveur de M. Cauchy..... IV. 1385 à 1389.
Sur certains cas de polarisation elliptique de la lumière par réflexion ; note de M. Powell..... IV. 1389.
Modifications que la réflexion à la surface des cristaux doués de l'opacité métallique fait éprouver à la lumière polarisée ; recherches de M. de Sénarmont ; phénomènes généraux de la réflexion à la surface des milieux biréfringents ; détermination expérimentale des amplitudes et des phases, comment elles varient avec l'incidence ; analogies entre les cristaux biréfringents et les corps opaques ou transparents. IV. 1391 à 1397.
Phénomènes de la réflexion métallique ; recherches de M. Jamin ; faits anciens observés par M. Brewster ; mesure des intensités de la lumière à la surface des métaux ; mesure de la différence de phase ; analyse de la lumière polarisée elliptiquement ; phénomènes présentés par les réflexions multiples..... IV. 1397 à 1417.
Comment à la surface des divers métaux varient les incidences de polarisation rétablie, et les azimuts de polarisation ; couleurs des métaux ; Recherches de M. Jamin ; rapport de M. Babinet..... IV. 1417 à 1429.
Réflexion à la surface des corps transparents ; recherches de M. Jamin ; rapport de M. Cauchy : la lumière réfléchie est en général polarisée elliptiquement ; analyse du rayon réfléchi : deux substances seulement donnent la polarisation elliptique complète ; coefficient d'ellipticité ; accord de l'expérience avec la théorie de M. Cauchy. IV. 1431 à 1437.
Polarisation elliptique et réflexion à la surface des métaux ; mémoire de M. Powell : anneaux brisés ou disloqués..... IV. 1440.
— Recherches de M. Jamin sur la polarisation du quartz ; rapports des axes des ellipses correspondantes aux deux rayons réfractés ; méthode expérimentale ; théorie de M. Cauchy ; coïncidence remarquable ; accord parfait avec l'expérience ; preuve écrasante de la vérité de la théorie des ondulations..... IV. 1502 à 1510.
— État de polarisation de la lumière colorée réfléchie..... IV. 1438.
— Avantages de la lumière polarisée pour l'éclairement des microscopes ; note de M. Brewster ; réclamation en faveur de M. Talbot..... IV. 1439.
— Théorie nouvelle de la polarisation par M. Challis ..... IV. 1442.
— Nouveaux genres de polarisation prétendue découverts par M. Brewster ; objections..... IV. 1448 à 1455.
Polarisation chromatique. Couleurs des plaques cristallines vues à travers la lumière polarisée ; phénomène principal, dépolarisation ; analyse du phénomène ; plaque mince, variation d'intensité du rayon transmis ; plaque épaisse, apparition des couleurs : elles varient avec l'inclinaison ; couleurs complémentaires : leur superposition donne du blanc, la teinte varie avec l'épaisseur ; si elle est trop grande, les couleurs disparaissent.

Digitized by Google

Loi de M. Biot; théorie physique des phénomènes : on la ramène aux interférences; objection; principes sur lesquels la solution repose; solution. Explication complète, démonstration *à priori* de la loi expérimentale de M. Biot : les rayons émergents sont elliptiquement polarisés; cas où la polarisation elliptique se change en polarisation rectiligne ou circulaire; comment dans le cas d'une grande épaisseur on ramène les couleurs par la superposition de deux plaques; cas où un rayon faisant avec l'axe optique un petit angle traverse un cristal uni-axe dans diverses directions; cristal perpendiculaire à l'axe; croix noire ou blanche et anneaux colorés; cristaux à deux axes, lemniscate, franges hyperboliques, pinceaux obscurs ou colorés..... I. 249 à 261.

Polarisation chromatique. Anneaux vus dans la lumière homogène, leur diamètre varie avec la couleur; succession des couleurs intervertie; cristal tantôt à deux axes, tantôt à un axe; polariscope de Savart; cristaux à faces parallèles; bandes hyperboliques; emploi de la lumière homogène; effets de la compression et de la chaleur sur la forme et la teinte des anneaux; anomalies; loi de Rudberg..... I. 348 à 365.

— Moyen de mettre en évidence le pouvoir doublement réfringent; la compression amène la double réfraction; influence de la chaleur sur la position et l'inclinaison des axes, sur l'élasticité, etc..... I. 283 à 289.

— Nouveau caractère distinctif des cristaux positifs et négatifs; quand un cristal à un axe est comprimé; le système d'anneaux se dédouble dans le sens de la compression ou perpendiculairement à la direction de la compression, suivant que le cristal est positif ou négatif; observations de MM. Moigno et Soleil..... IV. 1592.

— produite par les lames épaisses cristallisées, et étudiée à l'aide des raies du spectre; recherches de MM. Fizeau et Foucault. II. 556. IV. 1760.

— Sur les couleurs développées dans les fluides homogènes par la lumière polarisée; mémoire de Fresnel retrouvé..... IV. 1727.

Polarisation rotatoire et mobile; dispersion circulaire; double réfraction circulaire. Phénomène fondamental observé par M. Arago; différence entre le cristal de roche et les autres cristaux; rotation du plan de polarisation; lois expérimentales de ces phénomènes établies par M. Biot; rotation proportionnelle à l'épaisseur; plaques faisant tourner à droite ou à gauche; dextro-gyres ou levo-gyres; rotation croissant avec la réfrangibilité; dispersion circulaire; couleurs variant avec l'épaisseur de la plaque et la position de l'analyseur. Raison du sens de la rotation; faces plagyèdriques; améthyste formée de couches tour à tour dextrogyres et levogyres; contraste de bandes colorées et d'espaces obscurs..... I. 261 à 263.

— Polarisation rotatoire des liquides et des gaz; moyen de mettre le phénomène en évidence : le liquide peut faire tourner à droite ou à gauche; le pouvoir rotatoire se conserve dans les mélanges et s'ajoute ou se retranche : il n'est cependant pas inhérent à la molécule; exemple du

Digitized by Google

quartz. La cause de la rotation est l'interférence de deux rayons polarisés circulairement et transmis avec des vitesses inégales; démonstration expérimentale. Théorie mathématique de M. Airy; accord du calcul et de l'expérience; divination de M. Maccullagh.... I. 263 à 267.

— Défi jeté par M. Biot à M. Cauchy; théorie mathématique de la polarisation rotatoire et de la dispersion circulaire; loi nouvelle découverte par M. Cauchy; comparaison avec les expériences sur l'acide tartrique; côté faible de la théorie de M. Cauchy; objections de M. Laurent; réponse..... I. 267 à 279.

Théorie physique de la double réfraction circulaire donnée par M. Babinet : comment on peut la mesurer, sa valeur; singularités des interférences produites par les rayons polarisés circulairement; comment la double réfraction circulaire passe à la double réfraction ordinaire..... I. 279 à 283.

Plaques de quartz donnant les deux rotations; formation des cristaux jumeaux; différence entre l'acide tartrique et l'acide paratartrique, raison de cette différence; influence des impondérables.... I. 370 à 380.

Polarisation circulaire du cristal de roche. Etude des plaques de rotations contraires par M. Soleil; spirales d'Airy. Plaque à deux rotations naturelles, ligne noire, droite ou hexagonale, sa cause; il ne faut pas la confondre avec la teinte jaspée; caractères distinctifs. Rétractation; deux cas de rotation distincte..... I. 395 à 398.

— Structure et propriété rotatoire du quartz cristallisé; recherches de M. Soleil; plaques de rotation inverse; superposition; plaque naturelle à deux rotations..... IV. 1510 à 1514.

Plaque artificielle à deux rotations, de M. Soleil; moyen de faciliter les expériences de polarisation rotatoire..... IV. 1514.

Application de la plaque à deux rotations; nouvelle lunette prismatique de M. Arago..... IV. 1516.

Compensateur de M Soleil; nouvel appareil propre à la mesure des déviations dans les expériences de polarisation rotatoire..... IV. 1517.

Reproducteur des teintes sensibles de M. Soleil..... IV. 1519.

Saccharimètre de M. Soleil; rapports de M. Babinet, de M. Balard, de M. Edmond Becquerel; excellence de cet appareil. IV. 1521 à 1531.

Construction de deux plaques qui mettent en évidence les déviations du plan de polarisation; inconvénient de ces deux plaques; conditions contradictoires..... IV. 1531 à 1535.

Application du saccharimètre au dosage du sucre dans l'urine des diabétiques, par M. Lespiau..... IV. 1535.

— au dosage du sucre de lait, par M. Poggiale..... IV. 1537.

Albuminimètrie : de l'usage de l'albumine contenue dans le sang; recherches de M. Alfred Becquerel..... IV. 1435.

Digitized by Google

Polarisation rotatoire. Pouvoir rotatoire des sucres renfermés dans le miel; observations de M. Soubeiran..... IV. 1539.
Pouvoir rotatoire de l'acide camphorique, par M. Bouchardat. IV. 1539.
Phénomènes rotatoires et propriétés des sucres; observations de M. Dubrunfaut; influence de la température sur le pouvoir rotatoire; réclamation de M. Clerget..... IV. 1540.
Supériorité des analyses physiques sur les analyses chimiques; épreuve optique de la bière, par M. Steinheil..... IV. 1544.
Moyen de mettre en évidence la rotation de plan de polarisation par l'action des fluides; observation de M. Botzenhart..... IV. 1548.
Relations qui existent entre la forme cristalline et la composition chimique, et sur la cause de la polarisation rotatoire; recherches de M. Pasteur; formes limites; hémyédrie, cause de la polarisation rotatoire; application aux tartrates et paratartrates; acides racémique et lévoracémique; leurs propriétés spécifiques; hémyédrie superposable; hémyédrie non superposable; cette seconde hémyédrie est indispensable pour l'existence du pouvoir rotatoire..... IV. 1548 à 1556.
Divers modes de groupement dans le sulfate de potasse; observations de M. Pasteur..... IV. 1557.
— Notes diverses de M. Biot; propriétés optiques de la plaque à deux rotations; modification de l'appareil allemand; mesure des pouvoirs rotatoires; protestation contre M. Soleil; pouvoir rotatoire de l'essence de térébenthine, du cristal de roche; appareil construit par M. Biot; rapports sur les mémoires de M. Pasteur; manifestation du pouvoir rotatoire moléculaire dans les corps solides; l'eau près de son maximum de densité ou près de son point de congélation, n'a pas d'action sur la lumière polarisée; pouvoir rotatoire magnétique; considérations générales sur les phénomènes lumineux..... IV. 1722 à 1735.
Polariseur...... I. 250.
Polariscope de Savart..... I. 353.
Polychroïsme. Teintes multiples; de quoi se compose la couleur actuelle du cristal..... I. 383. *Voyez* **Optique minéralogique.**
Pouvoirs réfringents. Moyen de les déterminer à l'aide des franges d'interférence; pouvoir réfringent de l'air sec, plus grand que le pouvoir réfringent de l'air humide..... I. 160 à 161.
— **dispersif.** Rapport des dispersions; indice, moyen de réfraction; variations dans le passage d'une substance à une autre; pouvoir dispersif des substances composées; dispersion résultant de plus d'une réfraction; elle n'est pas constante, achromatisme avec une seule substance. I. 378 à 380.
Prismes de glace donnant naissance aux halos. *Voyez* **Optique météorologique**..... I. 203.
Propagation de la lumière en ligne droite, I. 68. Comment elle s'explique au moyen des interférences..... I. 155.

Digitized by Google

Raies du spectre. Les mêmes dans le spectre des réseaux que dans le spectre de réfraction; dans ces derniers spectres, les distances des raies sont toujours proportionnelles..... I. 185.
— Leur découverte par Wollaston et Fraunhofer; description du phénomène; différences signalées par les divers observateurs. Raies des spectres de diverses lumières; lumière électrique; lumière des planètes, des étoiles, des flammes ordinaires, de la flamme du gaz, des feux colorés, des phosphores, etc., etc. Raies produites par les absorbants gazeux; acide nitreux, iode, brôme; conjectures sur la nature des raies; observation importante de M. Forbes; explication dans les deux systèmes; théorie de M. Cauchy; essai de M. Erman pour les ramener aux interférences..... II. 429 à 456.
— Leur explication d'après M. de Wrède; explication spéciale des raies du spectre solaire; comment rendre compte de la différence considérable des maxima et des minima d'intensité; raison physiologique; expériences comparatives..... II. 547 à 547.
— Moyen d'étude des lignes d'interférence et des différences de marche; expériences de MM. Fizeau et Foucault..... II. 553.
— Moyen d'étude des phénomènes de la polarisation chromatique et de la polarisation rotatoire..... II. 556.
— Prétendues raies longitudinales. Observations de MM. Wartman, Erman, Zantedeschi; Ragona Scina; illusion; ces raies sont des raies accidentelles dues aux imperfections des appareils; démonstration de MM. Knoblauch, Crahay, Kuhn; conclusions; défense impossible de MM. Zantedeschi et Wartman..... III. 1217 à 1234.
— Raies sombres et brillantes; lignes noires visibles dans certaines flammes; recherches de M. W. A. Miller; les gaz incolores ne produisent point de de lignes; la présence de la couleur ne suffit pas; rapports des raies avec les substances composantes et composées; influence de l'atmosphère le soir et le matin; raies propres aux gaz, aux flammes colorées, aux métaux brûlants aux pôles de la pile; observations de M. Foucault, de M. Duboscq; argument contre M. Brewster..... III. 1237 à 1245.
— Indice de réfraction des raies du spectre vu à travers divers liquides; influence de la température; recherches de M. Baden-Powell... III. 1245.
Rayons calorifiques du spectre solaire. Phénomènes généraux; liaison intime de la chaleur avec la lumière; la lune elle-même donne un peu de chaleur; expérience de M. Melloni; inégale répartition de la chaleur dans les diverses parties du spectre solaire; les rayons rouges sont les plus chauds; expériences de Rochon et d'Herschel; rayons invisibles ou obscurs; les rayons qui éclairent sont-ils ceux qui échauffent; comparaison de la lumière et de la chaleur rayonnante; identité admise par Herschel. II. 638 à 648.
— Analyse calorifique du spectre solaire, par M. Melloni; rapports de température entre les rayons lumineux; spectre calorifique normal; point d'in-

Digitized by Google

tensité calorifique maximum; son déplacement. Il y a plusieurs sortes de chaleurs obscures; mesure des intensités correspondantes aux différents points du spectre; influence du volume du corps thermoscopique; influence de la largeur du prisme. Dans un rayon simple la chaleur propre est proportionnelle à la lumière; la chaleur et la lumière ne diffèrent que par la visibilité..... II. 648 à 670.

Rayons calorifiques du spectre solaire. Leur interférence : premières expériences de M. Matteucci; objections de M. Arago; secondes expériences..... II. 670.

— Polarisation rectiligne de la chaleur. Premières expériences de M. Forbes avec des piles de mica, expériences de M. Melloni avec la tourmaline; polarisation par double réfraction; inégalité d'absorption pour les deux rayons; polarisation par réfraction simple; nouvelles recherches de M. Melloni; constance de l'indice de polarisation; discussion des expériences de M. Forbes; la priorité lui appartient..... II. 672 à 676.

— Polarisation circulaire de la chaleur; expérience de M. Forbes. II. 676.

— Polarisation rotatoire; expériences de MM. Biot et Melloni.... II. 677.

— Réflexion de la chaleur. Nouvelles expériences de MM. de la Provostaye et Desains; réclamation en faveur de M. Cauchy..... II. 679.

— Spectre thermique; bandes de chaleur; thermographe et actinographe d'Herschel..... II. 781.

— Différence entre les rayons lumineux et les rayons calorifiques.. II. 850.

— Pouvoirs rayonnants, absorbants, diffusifs des corps; note de MM. Masson et Courte-Épée..... 1664.

— Énoncés des propriétés de la chaleur rayonnante, mises en évidence par MM. Knoblauch, de la Provostaye et Desains..... IV. 1665 à 1668.

— Longueurs d'ondes des rayons calorifiques; note de M. Fizeau. IV. 1668.

— Double réfraction de la chaleur rayonnante; recherches de M. Knoblauch..... IV. 1669.

— Polarisation de la chaleur rayonnante par réflexion, par réfraction simple, par double réfraction; recherches de M. Knoblauch. 1670 à 1674. Recherches de MM. de la Provostaye et Desains; existence d'une proportion plus ou moins considérable de chaleur polarisée dans les rayons émis par les corps; les lois de la polarisation de la lumière s'appliquent à la chaleur..... IV. 1675 à 1677.

— Interférence des rayons calorifiques; recherches de MM. Fizeau et Foucault; appareil dont ils se sont servis; franges produites au moyens de deux miroirs inclinés; spectres, à bandes brillantes et obscures, obtenus en analysant par le prisme les phénomènes d'interférence produits dans la lumière polarisée par les lames cristallisées; bandes dans la région invisible du spectre; diffraction produite par un bord rectiligne unique..... IV. 1678 à 1683.

— Inflexion et dispersion de la chaleur rayonnante; observations de M. Knoblauch..... IV. 1682.

Digitized by Google

Rayons calorifiques du spectre solaire. Interférences des rayons calorifiques par Seebeck; observations faites avec les spectres des réseaux. IV. 1685.

Rayons chimiques ou photogéniques. Action de décomposition et de transformation chimique de la lumière ; premières observations de Schele; différence d'action entre les divers rayons. Expériences de Ritter et de Wollaston ; rayons invisibles du côté du violet; rayons excitateurs et rayons protecteurs de Ritter ; possibilité de séparer les rayons purement chimiques des rayons éclairants. Il existe plusieurs spectres chimiques. Expériences de MM. Gay-Lussac et Thénard, répétées par Seebeck ; influence des couleurs bleue et rouge. Expérience de M. Hessler ; influence de la substance du prisme. Expérience de madame de Sommerville ; séparation par transmission ou absorption des rayons lumineux, calorifiques, chimiques..... II. 680 à 687.

— Polarisation des rayons chimiques : par réflexion, expérience de M. Bérard ; par double réfraction, expériences péremptoires de Sutherland..... II. 686.

— Interférences des rayons chimiques : expérience de M. Arago, ses conséquences ; les interférences de la lumière sont un phénomène absolu..... II. 687.

— Raies du spectre chimique. Expérience suggérée à M. Edmond Becquerel, par M. Arago ; succès complet. Importance de ce fait : les raies du spectre chimique sont à la même place que les raies du spectre lumineux. Discussion à ce sujet, logomachie..... II. 688 à 692.

— *Voyez* **Photographie** et **Images de Moser.**

— Analyse des travaux relatifs aux rayons chimiques et à la photographie ; Herschel, Edmond Becquerel, Moser. II. 777 à 898. Principaux résultats obtenus : rayons rouges extrêmes. 777 à 780. Longueur totale du spectre chimique. 777. Action colorante des rayons rouges. 778. Analyse chimique du spectre solaire. 779. Étendue nouvelle du spectre visible, rayons gris-lavande. 780. Action des milieux absorbans sur les rayons chimiques. 781. Action des rayons chimiques sur les couleurs végétales. 782. Impressions invisibles qui apparaissent sous l'influence de l'haleine ou de la vapeur d'eau. 784. Action excitatrice de l'eau et du nitrate de mercure. 785. Rayons parathermiques, leur action est opposée à celle des rayons chimiques. 787. La radiation chimique étudiée au moyen des courants électriques ; action de deux substances l'une sur l'autre, sous l'influence des rayons chimiques ; effets des divers écrans. 788, 790. Distinction entre les rayons excitateurs et les rayons continuateurs ; effets produits sur eux par les écrans. 790. Constitution du spectre solaire ; étude des divers rayons ; rapport de leur action avec la longueur d'ondulation ; remarques critiques. 792. Effet produit sur les corps par les rayons solaires ; actinomètre électrochimique ; action de la substance du prisme et des écrans. 794. Écrans accélérateurs et retardateurs de M. Malaguti..... 796.

Digitized by Google

Rayons chimiques ou photogéniques. Recherches de M. Draper : sur les effets chimiques des rayons solaires ; influence des écrans ; cristaux se déposant du côté de la lumière..... III. 942.
— Analogies entre les phénomènes, causés par les rayons chimiques et calorifiques ; réclamation de priorité sur M. Moser. 942. Apparences lumineuses ressemblant à des spectres : action des divers rayons du spectre. 944. Nouvelle substance impondérable et nouvelle espèce de rayons chimiques analogues aux rayons calorifiques obscurs ; tithonicité, rayons tithoniques. 944. Espaces tithonographiques sans action chimique, analogues aux raies de Fraunhofer. 945. Changements apportés dans les propriétés des corps élémentaires par leur exposition au soleil; action de la lumière sur le chlore. 946. Décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, sous l'influence de la lumière. 948. Action chimique de chacun des rayons du spectre ; maximum d'effet chimique, correspondant à une longueur d'onde 1358 ; absorption des rayons chimiques. 948 à 951. Allotropie du chlore ; changement d'état sous l'action de la lumière. 951. Différence entre les rayons de lumière émis par la chaux incandescente et l'étincelle électrique au point de vue de la phosphorescence produite. 934. Existence et mécanisme des rayons négatifs ou protecteurs solaires. Note de M. Lerebours : réclamation de priorité de MM. Fizeau et Foucault ; raies dans le rouge extrême ; doutes de M. Edmond Becquerel. Affirmation de M. Draper ; faits décisifs observés par M. Claudet ; influence des couches composées ; remarques de M. Gaudin. 954 à 964. Recherches sur la production de la lumière par la chaleur ; analyse du mémoire de M. Draper, faite par M. Melloni ; spectres successifs : à mesure que la température s'élève, les couleurs apparaissent dans l'ordre de leur réfrangibilité ; les rayonnements lumineux et calorifiques croissent simultanément ; réfutation de l'opinion de M. Brewster ; identité de la chaleur rayonnante et de la lumière. III. 964 à 973. Travaux de M. Hunt : changements chimiques apportés par la lumière solaire à quelques préparations photographiques.. III. 973 à 975.
— Expériences de M. Gaudin sur l'action des rayons excitateurs. IV. 1716.
— Expériences de MM. Fizeau et Foucault sur les rayons rouges, négatifs ou protecteurs..... IV. 1716.
— Action de la lumière sur le bleu de Prusse ; M. Chevreul.... IV. 1717.
Rayons excitateurs, continuateurs, négatifs ou protecteurs. *Voyez* **Photographie** et **Rayons chimiques.**
Rayons excitateurs de la végétation. Action de la lumière sur les plantes. Action reconnue de la lumière sur les plantes ; respiration, succion, coloration, mouvements, direction des tiges et des racines, germination, etc. II. 1095. Recherches de M. Payer ; tendance des tiges vers la lumière ; énoncé des faits : rapport de M. Becquerel ; observations critiques de M. Dutrochet ; influence du diamètre des tiges, de l'intensité lumineuse, doutes sur l'action diverse des divers rayons. Réponse de M. Payer.

Digitized by Google

1096 à 1104. Tendance des racines à fuir la lumière : énoncé des faits; rapport favorable de M. Dutrochet; observations de Poggioli, de M. Gardner; nouvelles expériences de M. Dutrochet; tendance directe, flexion latérale; action des divers rayons sur la tendance ou la fuite. 1114 à 1117. Influence sur la végétation des rayons transmis par des verres colorés; observation de M. Zantedeschi, les rayons jaunes sont les plus favorables à la germination; expériences analogues de Carradori, de Senebier, de Poggioli; incertitude des résultats obtenus. 1117 à 1122. Recherches de M. Gardner : Action de la lumière jaune dans la production de la couleur verte des plantes, et de la lumière indigo dans la production de leurs mouvements; observations critiques. 1122 à 1127. Recherches de M. Hunt : De l'influence de la lumière sur la végétation; la lumière est nuisible à la germination des graines et à l'accroissement des jeunes plantes. 1128 à 1130. Recherches de M. Draper : Décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, sous l'influence des rayons jaunes. 1131. Thèse de M. Durand de Caen : Recherche et fuite de la lumière par les plantes; racines qui recherchent la lumière; racines qui fuient la lumière; examen des théories par lesquelles on a expliqué l'influence qu'exerce la lumière sur les caudex végétaux; résumé; considération sur le genre de forces qui produit les phénomènes observés; moyens de décider la question; constitution des tiges selon M. Gardner; observation curieuse de M. Niepce de Saint-Victor. ..... 1132 à 1146.

Rayons magnétiques. Action du magnétisme sur la lumière et sur les axes optiques des cristaux. Rapports de l'électricité voltaïque avec la lumière et la chaleur.

— Premières expériences de M. Morichini; prétendue influence magnétique du rayon violet; confirmation apportée par Madame de Sommerville, par Baumgartner, Walt, Barlocci; négation de MM. Riess et Moser. Illusion de M. Zantedeschi. III. 1006 à 1012. Électricité des rayons solaires constatée par M. Matteucci. 1012. Expériences de M. Edmond Becquerel; jugement de M. Faraday; doutes de MM. Christie, de Moleyne. 1013 à 1015. Magnétisation de la lumière; illumination des lignes de force magnétique, par M. Faraday. Action des aimants sur la lumière; rotation du plan de polarisation sous l'action des aimants; circonstances fondamentales des phénomènes; lois de la rotation. 1015 à 1022. Action des courants électriques sur la lumière; les corps soumis à l'influence des courants jouissent du pouvoir rotatoire, ou le possèdent à un plus haut degré, s'ils en jouissaient déjà. 1022 à 1027. Considérations générales; le magnétisme agit par l'intermédiaire de la substance; différence entre les pouvoirs rotatoires naturels et artificiels; nullité d'action dans les substances doublement réfringentes; multiplication de l'effet produit, à l'aide de réflexions dans l'intérieur de la substance. 1027 à 1036. Expériences de M. Pouillet, 1036; de M. Edmond Becquerel, 1038. Action d'une plaque de cristal de roche

Digitized by Google

à deux rotations; contradiction avec M. Faraday. Expériences de M. Boetger. Mémoire de M. Bertin; modification des expériences au moyen de l'appareil de Noremberg et de la plaque à deux rotations de M. Soleil; les liquides les plus énergiques sont les liquides anhydres; le pouvoir rotatoire artificiel n'est ni égal ni supérieur au pouvoir naturel; loi des épaisseurs; variation de la rotation avec la distance; multiplication de la rotation; rotation sensible sur les quartz compensés; rotation nulle du plan de polarisation de la chaleur; négation de l'expérience de M. Wartman. 1036 à 1050. Appareil de Rumhkorff; rapport de M. Biot, 1050. Expériences nombreuses de M. Mathiessen d'Altona; réflexions critiques. 1051 à 1054. Lois des phénomènes de la rotation magnétique, par M. Bertin; action d'un pôle, action de deux pôles. 1054 à 1056. Idées théoriques de M. Mosotti; rétractation. 1057. Phénomènes de Faraday considérés au point de vue de la classification; illusion. 1059. Action réelle du magnétisme sur le plan de polarisation de la chaleur; expériences de MM. Laprovostaye et Desains. 1061 à 1064. Action du magnétisme sur les axes optiques des cristaux; recherches de M. Plücker. Chacun des pôles de l'aimant attire ou repousse l'axe optique d'un cristal quelconque, suivant que ce cristal est positif ou négatif. Dans les cristaux à deux axes, la ligne médiane est ou attirée ou repoussée; ou bien les deux axes sont également attirés ou repoussés; le cristal, devenu magnétique, acquiert des pôles dans la direction des axes optiques; comment, dans un cristal donné, on trouve le plan des deux axes et les axes eux-mêmes; un cristal est un véritable aimant dirigé par la terre, et auquel on peut assigner le point de l'horizon qu'il regardera; un cristal agit sur l'aiguille aimantée; si un corps cristallise sous l'action de l'aimant, ses molécules prennent une direction déterminée; pour le bismuth, le plan de clivage principal est perpendiculaire à la ligne des pôles. 1064 à 1079. Rapports de la polarité voltaïque avec la lumière et la chaleur. Recherches et découvertes de M. Neef. La lumière primitive apparaît au pôle négatif, et non au pôle positif; l'origine de la chaleur est au pôle positif; conjectures. 1079 à 1083. Expériences récentes de M. Matteucci; confirmation incomplète des faits observés par M. Neef; remarques critiques. 1083 à 1088. Confirmation nouvelle et entière de la découverte de M. Neef. 1088. Flammes colorées naissant au sein des liquides en communication avec les pôles de la pile; observations du R. P. Maas; apparition constante de la couleur rouge au pôle positif, du violet au pôle négatif..... 1089 à 1094.

Rayons magnétiques. Polarisation rotatoire magnétique observée dans les verres trempés et les parallélipipèdes de Fresnel, par M. Bertin. IV. 1720.

— Action des aimants et des courants sur les axes optiques des cristaux; nouvelle note de M. Plücker : loi générale des phénomènes ramenés à l'induction..... IV. 1721.

Rayons parathermiques d'Herschel. Leurs rapports avec les rayons calorifiques..... II. 787.

Digitized by Google

Rayons phosphorogéniques. Phosphorescence résultant d'une action mécanique, clivage, frottement, percussion, III. 976; produite dans l'acte de la cristallisation, 977; par élévation de température, 977; par insolation, 978; sous l'influence de la lumière électrique, 979 à 981. Phosphores artificiels, 981. Phosphores naturels ou phosphorescence spontanée, 982. Phosphorescence de la mer, 985; des pluies d'orage, 986. Différentes espèces de lumière phosphorescente, de ses teintes diverses, 986. Spectres phosphorogéniques, ou rayons des spectres propres à déterminer la phosphorescence par insolation, 987; raies de ce spectre, rayons obscurs produisant de la lumière, 987 à 992. Causes de la phosphorescence, explication impossible par imbibition et exhalation; rupture d'équilibre des molécules éthérées; aptitude spéciale à vibrer sous l'influence de telle ou telle radiation plus sympathique, 992 à 998. Analyse critique des travaux qui ont eu la phosphorescence pour objet..... 998 à 1005.

— Phosphorescence produite par insolation : entre quelles limites du spectre naît la phosphorescence pour une même substance préparée de diverses manières; production et destruction de l'effet sous l'action des différents rayons: recherches de M. E. Becquerel, IV. 1718. Phosphorescence des poissons et de la mer, observations de M. Matteucci..... IV. 1719.

Recomposition de la lumière. Formation du blanc par superposition des couleurs élémentaires; recherches de M. Dove; divers procédés de la recomposition de la lumière; reproduction du blanc par la superposition des couleurs objectives et subjectives; par l'impression des couleurs complémentaires sur la rétine des deux yeux; incomplète par l'absorption au moyen de verres colorés; par la rotation des secteurs colorés, par la succession rapide de couleurs complémentaires..... IV. 1366 à 1376.

Réflexion de la chaleur. *Voyez* **Rayons calorifiques.**

Réflexion de la lumière. Comment elle s'explique dans les deux systèmes de l'émission et des ondulations..... I. 75 à 79.

— **métallique.** *Voyez* **Polarisation elliptique.**

— régulière ou miroitante; irrégulière ou décomposante; leur rôle différent: l'une donne la sensation du corps lumineux, l'autre du corps réfléchissant: la seconde entre seule dans la production de la couleur des corps: la première produit l'éclat; comment s'en débarrasser par des réflexions successives..... II. 495 à 509.

— *Voyez* **Éclat** et **Couleur des corps.**

Réfraction de la lumière. Son explication dans le système de l'émission et des ondulations; différence essentielle entre les deux systèmes; loi de Descartes diversement interprétée; indice de réfraction.. ... I. 77 à 80.

— Indices de réfraction des raies fixes dans le spectre solaire formé par la lumière qui a traversé des métaux différents; recherches de M. Baden-Powell. Influence de la température..... III. 245.

— Pourquoi et comment la vitesse de la terre ne modifie-t-elle pas les phé-

Digitized by Google

nomènes de la réfraction. Expérience de M. Arago : difficulté; solution de M. Cauchy..... II. 402.

Réfraction de la lumière. Double réfraction. Sa découverte. indices de réfraction ordinaire et extraordinaire, plans des rayons réfractés.. I. 82.

— Direction des rayons ordinaire et extraordinaire, loi d'Huyghens. Théorie de Fresnel..... I. 83 à 85.

— Double réfraction attractive et répulsive..... I. 29.

— Double réfraction dans les cristaux : dépendante du mode de cristallisation; ordinaire ou extraordinaire, attractive et répulsive, ou positive et négative..... I. 324 à 331.

— Double réfraction : elle est quelquefois négative pour certaines couleurs, positive pour d'autres..... I. 352.

— Micromètre oculaire de M. Arago..... IV. 1325.

— Comment on met la double réfraction en évidence dans le plus petit cristal, en interposant le fragment sur le trajet de la lumière polarisée..... I. Additions et corrections, fin du volume.

— Double réfraction causée par la compression, par la chaleur, par la trempe qui constitue le milieu dans un état permanent; modifiée par la pression et la chaleur dans les cristaux qui en jouissent. Différence entre la double réfraction artificielle et la double réfraction naturelle..... I. 283 à 287.

— Double réfraction de la chaleur. *Voyez* **Rayons calorifiques.**

— Action des plaques doublement réfringentes sur la lumière polarisée. 250.

— *Double réfraction circulaire.* Sa théorie physique, par M. Babinet : comment elle se rattache aux phénomènes de rotation : procédés d'interférences à l'aide desquels on peut la mesurer; sa valeur. L'expérience directe est possible avec le cristal de roche, impossible avec les liquides; résultat de l'expérience; précautions à prendre; singularités des interférences produites par les rayons polarisés circulairement; comment la double réfraction circulaire passe à la double réfraction ordinaire à mesure que la route du rayon s'incline sur l'axe..... I. 279 à 283.

Réfraction conique. Extérieure et intérieure, constatée par M. Lloyd, preuve invincible de la théorie des ondulations, réfutation complète du système de l'émission; comment la réaliser..... I. 93 à 98.

— Théorie physique de ce phénomène par M. Plücker. Principes généraux de la double réfraction; surface de l'onde; ses quatre plans singuliers; décomposition du faisceau des rayons incidens en un nombre infini de cylindres elliptiques; cercle, lieu des centres; ce que sera le rayon émergent; réfraction conique intérieure; surface conique, enveloppe des plans tangents aux points singuliers de la surface; comment cette disposition donne naissance à la réfraction conique extérieure..... IV. 1314 à 1325.

Réfrangibilité. Décroît avec la longueur d'onde, plus grande pour le violet, plus petite pour le rouge..... I. 122.

Réseaux. Spectres produits par les réseaux. I. 184. Leur théorie; distance

Digitized by Google

angulaire des bandes de divers ordres. 185. Comment les spectres sont modifiés par la forme des réseaux; lignes très-fines tracées sur le verre ou sur des surfaces métalliques; stries de la nacre; plumes des oiseaux. 185 à 187.

Rétine. Son impressionnabilité..... II. 811.

Saccharimètre de M. Soleil: avantages, applications; IV. 1531 à 1537. *Voyez* **Pouvoir rotatoire.**

Scintillation des étoiles. Comment M. Arago explique ce phénomène à l'aide des interférences..... I. 165.

Soleil bleu, rouge, violet; explication de ce phénomène ramené à l'effet des plaques mixtes..... I. 249.

Spectres latéraux. Comment le phénomène varie avec la forme du réseau. Différentes manières de construire les réseaux. Réseaux naturels, nacre de perle, plumes des oiseaux..... I. 187.

Spectre solaire. Sa composition : hypothèse de M. Brewster; trois couleurs principales répandues sur tout le spectre; la couleur ne dépend pas de la réfrangibilité; essai de démonstration de cette hypothèse; analyse du spectre par absorption; on peut isoler la lumière blanche dans toutes les parties du spectre; remarques critiques; réfutation, comparaison avec le son. Extension donnée au spectre solaire par M. Mathiessen. Intensités relatives des diverses portions du spectre..... II. 459 à 469.

— Intensité maximum du rayon jaune..... II. 639.

— Constitution du spectre solaire; étude complète de M. Becquerel; rayons et spectres chimiques, phosphorogéniques, etc., etc. Raies communes, rapport de leur action avec les longueurs d'ondes..... II. 792.

— Sur la nouvelle analyse du spectre solaire de M. Brewster; note critique de M. Airy. Réponse à M. Draper, réponse à M. Melloni. Conclusion de cette controverse: nos arguments conservent leur valeur. Réfutation complète en partant des raies brillantes des spectres lumineux..... III. 1204 à 1216.

— Production de la lumière par l'action chimique; examen du spectre formé par cette lumière; longueurs d'ondes correspondantes aux raies principales; conjectures sur la nature de ces raies..... III. 1233 à 1237.

— Décomposition prismatique des couleurs d'interférence; recherches de M. Müller; spectre vu à travers une lame de gypse enfermée entre deux prismes de Nicole. Nombre des bandes; loi qui préside à la distance des bandes; accord du calcul et de l'expérience; perfectionnements apportés à ces observations..... III. 1247 à 1258.

— Décomposition prismatique des couleurs de divers fluides: spectres vus à travers les liquides colorés; courbes particulières à chaque liquide, recherches de M. Muller. III. 1258 à 1283. Réponse à M. Erman. 1283.

Spectre des réseaux de Fraunhofer. Il contient les mêmes raies que le spectre de réfraction. Les distances des raies sont toujours proportionnelles; c'est le spectre normal..... I. 184, 185.

Digitized by Google

Spectre des réseaux. Analyse de leur lumière par M. Moscotti; spectre normal, symétrique; ancienne formule qui lie la longueur des accès avec la couleur; formule nouvelle pour ce spectre. Rapports des intensités lumineuses pour les points correspondants aux raies principales; arcs compris entre les diverses couleurs; comparaison avec le son. III. 1265 à 1273.

Spectre thermique. *Voyez* **Rayons calorifiques.**

Spirales d'Airy. Explication donnée par M. Soleil. Différence entre deux plaques superposées et des cristaux enchevêtrés; comment au moyen des spirales on distingue si une plaque est dextrogyre ou lévogyre. I. Additions et corrections, fin du volume.

Hémyedrie. Cause de la polarisation rotatoire; superposable, non superposable. *Voyez* **Polarisation rotatoire.**

Stéphanoscope : appareil à montrer les couronnes..... IV. 1621.

Théorie mathématique de la lumière, de M. Cauchy..... I. 1.

Principes généraux..... I. 2.

Propagation du mouvement, surfaces-limites du mouvement propagé. 2.

Définitions et caractères d'un mouvement simple, ondes planes.... I. 4.

Amplitude des vibrations; coëfficients d'extinction par rapport à l'espace et au temps; ellipse décrite par la molécule lumineuse, longueur d'ondulation, durée d'une vibration, vitesse de propagation; nœud, phase, déplacement des nœuds..... I. 5 à 10.

Vibrations longitudinales et transversales, polarisation du mouvement elliptique, circulaire, rectiligne; direction des vibrations éthérées, plan de polarisation perpendiculaire aux directions des vibrations de l'éther, décomposition des mouvements lumineux en deux autres rectangulaires, positions et valeurs relatives des nœuds et des phases des rayons composants..... I. 12 à 18.

Réflexion et réfraction du mouvement simple, conditions aux limites, direction des ondes réfléchies et réfractées, nécessité de tenir compte des trois mouvements qui se propagent dans chaque milieu. Mouvements correspondants. Influence des molécules des corps. Lois générales de la réflexion et de la réfraction. Proportionnalité des sinus d'incidence, de réflexion et de réfraction aux épaisseurs des ondes incidentes, réfléchies et réfractées. Loi de Descartes; quand elle est inexacte. Couleur des rayons réfléchis et réfractés. Réflexion à la seconde surface des cristaux à un et à deux axes optiques. Loi de M. Biot..... I. 18 à 28.

Modification que la réflexion et la réfraction font subir au mode de polarisation du rayon et à l'amplitude des vibrations moléculaires; intensité des rayons réfléchi et réfracté. Rayon simple, son axe, ses nœuds, sa phase. Variation de l'amplitude, déplacement des nœuds, différence des phases après une ou plusieurs réflexions, une ou plusieurs réfractions. Transformation des rayons plans en rayons circulairement et elliptiquement polarisés. Polarisation complète et incomplète. Réflexion totale. Comment

Digitized by Google

la réflexion totale engendre la polarisation circulaire. Rapports entre les amplitudes des molécules lumineuses dans les rayons incidents, réfléchis et réfractés. Intensités relatives de ces rayons ..... I. 28 à 51.

Théorie mathématique de la lumière. Réflexion à la surface des corps opaques et des métaux. Indice de réfraction, coëfficient d'extinction. Comment ils se déduisent de l'incidence principale ou angle de polarisation maximum, et de l'azimut principal de réflexion ou azimut du rayon restauré. Quantité de lumière réfléchie à la surface des métaux, quand le rayon incident est polarisé parallèlement ou perpendiculairement au rayon d'incidence. Accord de la théorie et de l'expérience. . I. 28 à 60.

Variations que subissent l'anomalie et l'azimut d'un rayon simple quand le plan, à partir duquel on comptait l'azimut, vient à tourner. Effets de la réflexion et de la réfraction quand les divers plans de réflexion et de réfraction ne se confondent plus avec le plan d'incidence. Lois générales de la polarisation circulaire et elliptique. Rapports des axes de l'ellipse décrite par la molécule lumineuse..... I. 54 à 66.

Dispersion de la lumière. Sa théorie d'après M. Cauchy. Comment l'indice de réfraction varie avec la durée des vibrations et la longueur d'onde. Loi de la dispersion ; elle est vérifiée par les expériences de M. Powell et les nombres de Fraunhofer..... I. 123 à 127.

Application de la dispersion à différents problèmes. Comment la polarisation se lie à la dispersion. Y a-t-il dispersion dans le vide? Comment on peut résoudre cette difficulté par l'observation des étoiles périodiques. Evaluation approximative de la distance entre deux molécules contigues d'éther. Les rayons qui se propageraient plus rapidement dans les corps se propageraient plus lentement dans le vide..... I. 127 à 136.

Calcul des intégrales dont dépendent les phénomènes de la diffraction..... I. 189.

Théorie directe et générale de la diffraction et des ombres. Deux espèces de rayons diffractés, les uns réfléchis, les autres transmis. Pourquoi l'on n'a pas observé les rayons diffractés réfléchis. Autre manière d'envisager ce problème. Fresnel a peut-être observé les rayons diffractés réfléchis. Pourquoi la diffraction est accompagnée de dispersion. Paraboles de diffraction. Loi de leurs paramètres. Comparaison de la théorie et de l'expérience. Intensité de lumière des rayons réfléchis et transmis. Les rayons diffractés, transmis ou réfléchis, sont polarisés dans le même plan que le rayon incident. Changement de phase des rayons diffractés. Cas de l'incidence oblique. Extension à tous les mouvements infiniment petits. Diffraction des ondes sonores. Les sons aigus s'éteignent plus rapidement. Différence entre les mouvements sonores et lumineux : dans le premier, il y a condensation et dilatation; dans le second, vibrations transversales. Nœuds fixes du son. Renforcement, interférences..... I. 188 à 205.

Digitized by Google

Théorie mathématique de la lumière. Anneaux à centre gris des métaux et des surfaces métalliques. Théorie complète des anneaux colorés ; pourquoi M. Cauchy ne l'a-t-il pas publiée? ..... I. 221.
Polarisation de la lumière des anneaux colorés sur les métaux..... I. 224.
Théorie de la polarisation rotatoire ou de la dispersion circulaire des plans de polarisation ; principes généraux ; forme particulière des équations de la polarisation rotatoire. Nouvelle méthode. Conditions analytiques : elles se réduisent à deux, termes d'ordre pair et impair ; séparation des rayons ; pourquoi on ne l'a pas observée. Loi suivant laquelle l'indice de rotation d'un rayon homogène et polarisé varie avec la couleur. Indices de rotation à peu près réciproquement proportionnels aux carrés des longueurs des ondes. Autre application des mêmes formules. Résumé analytique de cette théorie. Loi nouvelle de la dispersion circulaire. Comparaison avec les phénomènes observés dans l'acide tartrique. Côté faible de la méthode de M. Cauchy. Objections de M. Laurent. Réponse. ..... I. 261 à 279.
Explication des raies sombres et brillantes des spectres..... II. 439.
Polarisation chromatique, ses équations..... IV. 1735.
Lois de la réflexion de la lumière à la surface des corps opaques et spécialement des métaux, formules générales..... IV. 1736.
Mémoire sur le mouvement d'un système de molécules..... IV. 1738.
Sur les conditions relatives aux limites des corps et en particulier sur celles qui conduisent aux lois de la réflexion et de la réfraction..... IV. 1738.
Fonctions isotropes et hémitropes..... IV. 1739.
Action ternaire, action catalytique..... IV. 1739.
Trois espèces de rayons lumineux..... IV. 1740.
Mécanique moléculaire..... IV. 1741.
Rayons lumineux simples et rayons évanescents..... IV. 1741.
Réflexion et réfraction de la lumière, nouveaux rayons réfléchis et réfractés..... IV. 1742.
Indice de réfraction d'une plaque transparente..... IV. 1743.
Rayons réfléchis par les lames minces et anneaux colorés..... IV. 1743.
Mouvement par ondes planes..... IV. 1744.
Vibrations infiniment petites des systèmes de points matériels. IV. 1745.
Direction des vibrations par rapport au plan de polarisation.. IV. 1745.
Vibrations d'un double système de molécules et de l'éther contenu dans un corps cristallisé..... IV. 1745.
Systèmes isotropes de points matériels..... IV. 1746.
Vibrations d'un double système de molécules ou de l'éther continu dans un corps cristallisé..... IV. 1746.
Perturbations produites dans les mouvements vibratoires d'un système de molécules, par l'influence d'un autre système..... IV. 1746.
Propagation de la lumière dans les milieux isophanes..... IV. 1747.
Vibration de l'éther dans les milieux isophanes..... IV. 1748.

Digitized by Google

Théorie mathématique de la lumière. Différence de marche entre les deux rayons lumineux qui émanent d'une plaque doublement réfringente, à faces parallèles..... IV. 1748.
Ephiphonème..... IV. 1748.
Thermographie ou l'art de transporter au moyen de la chaleur les dessins et caractères imprimés du papier sur métal..... III. 903.
Transparence de l'atmosphère..... I. 290.
— *Voyez* **Optique météorologique.**
Traumatrope de M. Plateau..... II. 569.
Tithonotype..... II. 945.
Vibrations et ondulations de la lumière..... I. 68.
— *transversales*..... I. 84.
— Principe de l'équivalence des vibrations de M. Macculagh. Vibrations parallèles au plan de polarisation, suivant quelques auteurs..... I. 112.
— Les vibrations peuvent différer par l'amplitude et la durée; par l'intensité et le ton dans le son; par l'intensité, la couleur ou la teinte dans la lumière..... I. 121.
— Comment on peut concevoir les vibrations lumineuses, suivant M. Faraday..... III. 1145.
Vision. Comment se fait la vision; comment l'œil reçoit la sensation de l'intensité et de la couleur de la lumière..... II. 621.
— Procédés de la vision; opinion de M. Moser..... II. 797.
Vitesse de la lumière. Elle réfute à elle seule le système de l'émission; comment elle s'explique dans la théorie des ondulations..... I. 68 à 72.
— Rayons de toute vitesse; rayons de vitesse déterminée..... I. 72 à 73.
— Les vitesses des rayons doublement réfractées sont toutes deux variables dans les différentes directions..... I. 94.
— La vitesse de propagation est indépendante dans le son de l'amplitude et de la durée des oscillations. Il n'en est pas ainsi pour la lumière. Explication de cette différence dans les deux systèmes de l'émission et des ondulations. Solution de cette difficulté donnée par M. Cauchy..... I. 123.
— Les rayons qui se propagent plus rapidement dans les corps, se propagent plus lentement dans le vide et réciproquement, en supposant que le vide ne disperse pas..... I. 130.
— Moyen proposé par M. Arago pour savoir si la vitesse de la lumière dans l'eau est plus ou moins grande que dans l'air; soit en observant la déviation à droite et à gauche des deux rayons, soit en observant les spectres formés..... I. 150 à 155.
— Vitesse des deux rayons qui passent à travers une plaque doublement réfringente..... I. 255.
— Mesure directe de la vitesse de propagation de la lumière, par M. Fizeau; son appareil, ses expériences; singulière concurrence; projet de M. l'abbé Labordes..... III. 1150 à 1165.

Digitized by Google

Vitesse de la lumière. Influence de la vitesse des astres et de l'observateur sur la nature de la couleur perçue. Le ton du son et la nature de la couleur sont nécessairement modifiés par le déplacement relatif de l'observateur et de l'astre, ainsi que les intensités du son et de la lumière; analyse du phénomène, ses lois; étoiles changeantes, étoiles variables, étoiles nouvelles, étoiles éteintes; couleurs complémentaires des étoiles doubles; qu'arriverait-il si la vitesse de la terre était beaucoup plus grande? Questions sur les étoiles doubles : explication des périodes de visibilité et de la couleur particulière des étoiles périodiques..... III. 1175 à 1182.

— Observations de M. Bolzano sur cette théorie; objection. III. 1182.

— Confirmation probable pour le cas du son; par M. Buys-Ballot; variations observés dans la perception du ton; insuccès probable relativement à la couleur des astres; objection insoluble. Réponse de M. Doppler : influence du mouvement simultané de l'observateur et de l'astre; intensité variable des satellites de Jupiter; étoiles doubles, étoiles variables, étoiles périodiques, etc.....III. 1185 à 1194.

— Effet du mouvement rapide de l'observateur sur la perception du son; expérience de M. Scott-Russel; remarque de M. Brewster. 1195. Expériences du même genre et plus concluantes de M. Fizeau; application à la lumière; la couleur ne doit pas changer; les raies seules doivent se déplacer. 1197. Discussion de ces diverses expériences; objections théoriques; conclusions.....III. 1199 à 1202.

— Méthode de M. Doppler pour déterminer la vitesse d'ondulation des molécules d'air..... IV. 1753.

Digitized by Google

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES

NOMS D'AUTEURS.

Airy. Théorie des anneaux vus autour des étoiles..... I. 185.
— Explication des anneaux colorés sur métaux. (Pogg. Ann. XLI, 542. I. 324.
— Vitesse et amplitude des vibrations lumineuses..... I. 254.
— Théorie de la polarisation rotatoire du quartz..... I. 265.
— Théorie des arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel. (Trans. Camb. VI, 379.)..... I. 297. IV. 1643.
— Polarisation sur le diamant..... I. 332.
— Sur les vibrations des rayons lumineux. Critique des opinions émises par M. Faraday. (Philos. Mag. XXVIII, 532.)..... III. 1154.
— Théorie d'une nouvelle polarisation de la lumière de M. Brewster. (Transact. Phil. 1839 et 1840.)..... IV. 1450.
— Objections contre la constitution assignée au spectre solaire par M. Brewster. (Philos. Mag., XXX, 53, 153.)..... III. 1204.
Algarotti. Causes de la phosphorescence..... III. 992.
Amici. Pouvoir dispersif: achromatisme avec une seule substance. (Pogg. Ann. XXXV, 609.)..... I. 379.
Ampère. Explication des vibrations transversales..... I. 84.
Arago. Lumière émanant des corps incandescents..... I. 22.
— Equivalents optiques..... I. 41.
— Anneaux colorés réfléchis et transmis. (Mém. d'Arcueil, III, 323, 1811.)..... I. 48.
— Loi du carré du cosinus. (C. Rend., XXX, 305)..... I. 56, 165. IV. 1802.
— Rapport de la vitesse de la lumière avec sa visibilité..... I. 72.
— Pourquoi vient-il en aide à la théorie de l'émission qu'il a renversée..... I. 73.
— Projet d'expérience. (C. Rend. VII, 954.)..... I. 80.
— Intensité des rayons réfléchis et réfractés..... I. 113.
— Vérification expérimentale des formules de Fresnel..... I. 116.

Digitized by Google

Arago. Vitesse de la lumière appréciée par le déplacement des franges d'interférence..... I. 150.
— Moyen direct de prouver que la lumière va moins vite dans les milieux plus denses..... I. 151.
— Non-interférence des rayons polarisés à angle droit. Moyen de les ramener à interférer..... I. 157, 159, 253.
— Baromètre, thermomètre et réfracteur interférentiel. Moyen de mesurer par les interférences la pression atmosphérique, la température et les indices de réfraction. (C. Rend. x, 813.)..... I. 159, 164.
— Explication du phénomène de la scintillation. (C. Rend. x, 83.). I. 165.
— Lumière au centre de l'ombre géométrique..... I. 182.
— Anneaux vus autour des étoiles, quand on les regarde dans une lunette..... I. 187.
— Anneaux colorés étudiés dans la lumière polarisée. (Mém. d'Arcueil, III, 223.)..... I. 221, 226.
— Anneaux colorés employés comme moyen photométrique..... I. 238.
— Polarisation rotatoire et chromatique. — Premières observations. (Mém. de l'Acad., 1812. 1, 93; Ann. de ch. et de ph., 1811.)..... I. 249 à 370.
— Polarimètre et cyanomètre. (C. Rend. XX, 13, 840. — XXI, 346.). I. 291.
— Explication des halos..... I. 302.
— Polarisation de l'atmosphère..... I. 314, 315.
— Son point neutre, primitif et secondaire..... IV. 1639, 1640.
— Rayons crépusculaires..... I. 317.
— Absorption sans polarisation..... I. 330.
— Lois de la polarisation complète ou partielle..... I. Addit. et correct.
— Biprisme..... *Id.*
— Arcs secondaires..... *Id.*
— Dépolarisation..... *Id.*
— Réfraction indépendante de la vitesse de la terre..... II. 402.
— Lumière zodiacale..... II. 409.
— Polarisation de la lumière des aurores polaires. (C. Rend., IX, 574, 607.)..... II. 420.
— Constitution du soleil..... II. 457.
— Couleur des corps..... II. 550.
— Durée des éclairs..... II. 567.
— Couleur bleue ou verte du soleil. (C. Rend., VIII, 306.)..... II. 580.
— Objections contre la théorie de l'irradiation de M. Plateau. (C. Rend., VIII, 713.)..... II. 608.
— Objections contre l'expérience d'interférence des rayons calorifiques de M. Matteucci..... II. 671.
— Sur les différents rayons du spectre..... II. 684.
— Réflexion, réfraction et interférence des rayons chimiques. II. 685 à 687.
— Raies du spectre chimique. (C. Rend. III, 478.)..... II. 688.

Digitized by Google

Arago. Origine de la photographie. (C. Rend., VIII, 207, 361, 838; X, 478.) ..... II. 694.
— Publication des procédés de M. Daguerre. (C. Rend., VIII, 4, 170, 413.— IX, 227.) ..... II. 702.
— Effet de l'hyposulfite de soude ..... II. 769.
— Nature de l'action photogénique. (C. Rend., IX, 376.— X, 766.). II. 794.
— Phosphorescence des rayons diversement colorés qui composent la lumière solaire. (C. Rend. VIII, 270.) ..... III. 991.
— Action magnétique des rayons solaires ..... III. 1007.
— Micromètre oculaire à double réfraction. (C. Rend. XXIV, 352, 400.— XXVIII, 561.) ..... IV. 1325.
— Polarisation à angle droit du rayon réfléchi obliquement par une feuille de papier. Polarisation du rayon émanant d'une plaque métallique incandescente ..... IV. 1366.
— Polarisation de la lumière dispersée ..... IV. 1383.
— Bonne nouvelle : construction du baromètre-thermomètre et réfracteur interférentiel ..... IV. 1490.
— Observation relative aux expériences de lord Brougham sur l'inflexion. (C. Rend. XXX, 47, 67.) ..... IV. 1501.
— Nouvelle lunette prismatique ..... IV. 1516.
— Première idée de l'horloge polaire de Wheatstone ..... IV. 1650.
— Questions diverses sur la couleur de l'eau. (C. Rend. VII, 219.) IV. 1662.
Argelander. Segment obscur de l'aurore polaire ..... II. 416.
Babinet. Modification de l'appareil des anneaux colorés ..... I. 220.
— Théorie des couleurs des doubles surfaces à distance. (C. Rend. VII, 694.) ..... I. 224.
— Couleurs des lames mixtes. (C. Rend. VIII, 306, XXI, 513.) .... I. 248.
— Soleil bleu, rouge, etc. etc. (C. Rend. VIII, 306.) ..... I. 249.
— Double refraction circulaire. (C. Rend. IV, 900.) ..... I. 279.
— Théorie de l'arc-en-ciel. (C. Rend. IV, 638.) ..... I. 293.
— Reproduction artificielle de l'arc-en-ciel ..... I. 296, IV. 1605.
— Théorie des couronnes. (C. Rend. IV, 638.) ..... I. 298.
— Anthélies. (C. Rend. IV, 638.) ..... I. 301.
— Imitation des parhélies. (C. Rend. IV, 638.) ..... I. 312.
— Point neutre. (C. Rend. XI, 618, XV, 40, XXIII, 195.) I. 315, 339. IV. 1640.
— Effet de la chaleur sur les anneaux donnés par les cristaux .... I. 357.
— Anneaux de l'émeraude et du beryl ..... I. 353.
— Phénomènes divers de dépolarisation ..... I. 377.
— Absorption avec polarisation. (C. Rend. IV, 758.) ..... I. 381.
— Dichroïsme. — Polichroïsme ..... I. 333.
— Absorption avec polarisation. (C. Rend., IV, 758.) I. 383. IV. 1349, 1561.
— Couleurs dans le dichroïsme. Astéries ..... I. 384.
— Couleur de l'agate ..... I. 387.

Digitized by Google

Babinet. Cercle parhélique du grenat..... I. 389.
— Polarimètre promis..... I. 395.
— Bandes d'interférences indépendantes de la vitesse de la terre. II. 402.
— Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1231.
— Sens des vibrations dans les rayons polarisés. (C. Rend. xxix, 514.) IV. 1366.
— Rapport sur le mémoire de M. Jamin, relatif aux couleurs des métaux..... IV. 1428.
— Son compensateur..... IV. 1433.
— Rapport sur le mémoire de MM. Fizeau et Foucault. (C. Rend., xxvi, 680.)..... IV. 1467.
— Rapport sur le saccharimètre de M. Soleil. (C. Rend., xxvi, 162, 240..... IV. 1522.
— Observation du point neutre de M. Brewster. (C. Rend., xx, 801.—xxiii, 283.)..... IV. 1646.
— Lumière qui dans les éclipses pénètre l'ombre de la terre..... IV. 1655.
Babini. Action magnétique des rayons solaires..... III. 1006.
Back. Halo lunaire..... I. 306.
Balard. Rapport sur le saccharimètre de M. Soleil..... IV. 1527.
Barlocci. Action magnétique des rayons solaires..... III. 1009.
Baudrimont. Polarisation de la lumière des aurores polaires..... I. 420.
Bauer. Réclamation en faveur de M. Niepce (C. Rend. viii, 361). II. 701.
Baumgartner. Timbre du son..... II. 475.
— Action magnétique des rayons solaires..... III. 1006.
Bayard. Photographie sur papier (C. Rend. x, 337.—xii, 305.—xviii, 118..... II. 746.
Bayle. Diminution de la phosphorescence avec la raréfaction de l'air..... III. 993.
Beccaria. Expériences sur la phosphorescence..... III. 992.
— Recherches sur la phosphorescence..... III. 993.
Becquerel (Edm.) Action identique des rayons solaires dans l'air et dans l'eau..... I. 73.
— Raies du spectre chimique..... II. 689.
— Action des rayons lumineux (C. Rend. xxv, 594)..... II. 915.
— Effet de la radiation chimique (C. Rend. ix, 169, 173)..... II. 788.
— Effets électriques sous l'influence des rayons solaires..... II. 789.
— Rayonnement chimique..... II. 790.
— Constitution du spectre solaire (C. Rend. xiv, 901)..... II. 792.
— Actinomètre électro-chimique..... II. 794.
— Effets produits sur les corps par les rayons solaires (C. Rend. xvii, 882)..... II. 794.
— Réponse de M. Moser..... II. 886.
— Observations critiques sur sa manière d'agir..... II. 887.

Digitized by Google

Becquerel (Edm.) Objections contre l'existence des rayons négatifs, protecteurs ou retardateurs..... III. 952.
— Rayons protecteurs et continuateurs (C. Rend. XII, 862, 1060). III. 962.
— Phosphorescence produite par la lumière électrique..... III. 981.
— Aptitude des divers rayons du spectre solaire à produire la phosphorescence..... III. 987.
— Phosphorescence en rapport avec les différents rayons du spectre. III. 989.
— Phosphorescence produite dans le vide..... III. 1004.
— Action électrique des rayons solaires..... III. 1012.
— Rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique..... III. 1038.
— Rapport sur le saccharimètre de M. Soleil. (Bulletin de la Société d'encouragement, 1847)..... IV. 1530.
— Image photochromatique du spectre. (C. Rend. XXVI, 181.—XXVII, 483)..... III. 1694.
— Phosphorescence produite par insolation. (C. Rend. XXV, 632). IV. 1718.
Becquerel (Alfred). Albuminimètre..... IV. 1535.
Becquerel (père). Résumé des connaissances acquises sur la phosphorescence. (C. Rend. VIII, 188, 210, 223, 493; XIV, 901..... III. 976.
— Phosphorescence produite par la lumière électrique..... III. 981.
— Causes de la phosphorescence..... III. 995.
— Phosphorescence attribuée exclusivement à l'électricité..... III. 996.
— Influence des écrans sur la phosphorescence..... III. 1003.
Beer. Sa collaboration active avec M. Plücker..... III. 1079.
Belfield. Mode de polissage des plaques daguerriennes; nouvelle préparation; nouvelle couche sensible..... II. 715-727.
Béquet. Appareil régulateur pour la photographie..... II. 727.
Berres. Gravure des épreuves photographiques..... II. 707.
Bertin. Rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique (C. Rend., XXVI, 216). Thèse de doctorat.... III. 1040 à 1050.
— Loi de la rotation du plan de polarisation sous l'influence magnétique. *Idem*..... III. 1054.
— Polarisation magnétique des verres trempés et du parallélipipède de Fresnel..... IV. 1720.
Bertot. Empreintes hydrothermiques..... III. 930.
Bianchi. Lueur magnétique..... II. 426.
Billet. Thèse de physique sur les anneaux colorés. (Paris, 1833.).. I. 206.
Biot. Rayons réfléchis à la seconde surface des cristaux..... I. 27.
— Intensité de la lumière réfléchie à la surface des métaux..... I. 58.
— Direction des axes optiques..... I. 90.
— Plan de polarisation des rayons ordinaire et extraordinaire..... I. 120.
— Polarisation chromatique dans les cristaux à un et à deux axes... I. 252.
— Lois des teintes..... I. 256.

Digitized by Google

Biot. Lois des phénomènes de la polarisation rotatoire. (Mém. de l'Académie, 1818, 41)..... I. 262.
— Polarisation rotatoire des liquides..... I. 263.
— Crépuscule. Hauteur de l'atmosphère..... I. 292.
— Polarisation de l'arc-en-ciel..... IV. 1604.
— Rapport de la cristallisation avec la double réfraction..... I. 325.
— Double réfraction attractive et répulsive..... I. 327.
— Polarisation lamellaire..... I. 359 à 369.
— Déviation des plans de polarisation dans le quartz..... I. 371.
— Cristaux dextrogyres et lévogyres..... I. 372.
— Cause de la polarisation rotatoire du quartz. (C. Rend. VIII, 683, 679). I. 374.
— Pouvoir rotatoire des acides tartrique et paratartrique..... I. 375.
— Couleurs autour des axes de la cordiérite..... I. 382.
— Etoiles filantes..... II. 407.
— Lumière des aurores polaires..... I. 420.
— Développement de la théorie de la couleur des corps de Newton. (Traité de physique, IV, 123)..... II. 480.
— Polarisation rotatoire de la chaleur. (C. Rend., II, 194)..... II. 677.
— Phosphorescence produite par la lumière électrique..... III. 981.
— Analyse du verre bleu produisant à haut degré la phosphorescence. III. 991.
— Influence des écrans sur la phosphorescence..... III. 1003.
— Polarisation par les substances très-réfringentes..... IV. 1385.
— Propriétés optiques des plaques à deux rotations..... IV. 1722.
— Modification de l'appareil de polarisation. — Mesure des pouvoirs rotatoires..... IV. 1723.
— Protestation contre M. Soleil. Pouvoir rotatoire des térébentines. 1724.
— Phénomènes rotatoires du cristal de roche. (C. Rend., XXI, 643.) Seconde note : reprise de ses anciennes expériences. (C. Rend., XXII, 93). IV. 1725.
— Note sur des Mémoires de Fresnel qu'on croyait perdus..... IV. 1727.
— Rapport sur un appareil de Ruhmkorff pour la polarisation rotatoire magnétique. Produits chimiques obtenus par M. Mitscherlich. Appareil de polarisation rotatoire construit par M. Bianchi..... IV. 1728.
— Rapport sur les Mémoires de M. Pasteur ; relations entre l'action chimique et le sens du pouvoir rotatoire ; propriétés des acides racémique et lévoracémique. (C. Rend., XXVII, 401)..... IV. 1729.
— Manifestation du pouvoir rotatoire dans les corps solides. (C. Rend., XXIX, 691)..... IV. 1730.
— Pouvoir rotatoire de l'eau, près de son maximum de densité (C. Rend., XXX, 281)..... IV. 1731
— Polarisation rotatoire magnétique, et considérations générales sur la lumière. (Journ. des Savants, 1846)..... IV. 1733.
Blanc. Longueurs des accès des rayons colorés..... III. 1266.
Blanchet. Limite de la surface des ondes..... I. 3.

Digitized by Google

Blanquart-Evrard. Photographie sur papier..... I. 750.
— Photographie sur verre..... IV. 1713.
Bode. Constitution du soleil..... II. 456.
Bolzano. Influence de la vitesse du corps sonore ou lumineux, ou de l'observateur sur le ton du son et la teinte de la couleur. Observations sur la théorie de M. Doppler. (Pogg. Ann., LX, 83; — LXX, 530)..... III. 1182.
Boscovich. Accès de Newton..... I. 76.
Bœttger. Coloriage des plaques daguerriennes..... II. 746.
— Rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique. (Pogg. Ann., LXVII, 290)..... III. 1040.
Botzenhart. Couleur des corps. (Pogg. Ann., LXVIII, 291)..... II. 553.
— Modification du phénomène des houppes. Déviation dans le cristal de roche. (Pogg. Ann., LXX, 399. C. Rend., XXIV, 43)..... IV. 1364.
— Note sur la couleur des corps. (Pogg. Ann., LXI, 291)..... IV. 1437.
— Amplification du pouvoir rotatoire..... IV. 1548.
Bouchardat. Propriétés optiques de l'acide camphorique..... IV. 1539.
Bouguer. Photométrie..... I. 56.
Boyle. Couleurs des plaques minces. (Lond. 1663)..... I. 204.
Bradley. Explication de l'aberration de la lumière..... IV. 1756.
Brandes. Hypothèse sur les halos..... I. 304.
Bravais. Théorie des parhélies. (Journ. de l'École polytechn., XXX). I. 308.
— Rapport des aurores polaires avec le magnétisme terrestre..... I. 420.
— Rayons crépusculaires. (C. Rend., XIV, 922)..... I. 316.
— Notice sur l'arc-en-ciel et méthode d'observation. (Annuaire de Météorologie, tom. I, 1848)..... IV. 1603.
— Instruction sur l'observation de l'arc-en-ciel. (Annuaire de Météorologie, tom. I, 1848)..... IV. 1618.
— Remarques sur les halos et leur explication ou leur théorie. (Journal de l'École polytechnique, XXXI)..... IV. 1627.
— Polarisation de la lumière des halos. (J. de l'École polyt., XXXI). IV. 1634.
Brébisson. Séchage des plaques daguerriennes..... II. 737.
Breguet. Appareil propre à mettre en évidence le retard de la lumière dans les milieux plus denses. Miroir faisant deux mille tours..... I. 153, 155.
— Confirmation de la découverte de Moser. (C. Rend., XV, 450).. II. 877.
Brewster. Loi de la polarisation. Direction du rayon polarisé. . I. 42, 103.
— Mouvement du plan de polarisation de la lumière réfractée..... I. 47.
— Lumière réfléchie sur la surface des métaux..... I. 53.
— Angle maximum de polarisation. (Trans. philos., 1815, 125)..... I. 67.
— Découverte des axes optiques..... I. 82.
— Polarisation complète après plusieurs réflexions..... I. 106.
— Polarisation complète après plusieurs transmissions..... I. 107.
— Vérification des formules de Fresnel..... I. 116.
— Détermination du plan de polarisation du rayon réfracté..... I. 117.

Digitized by Google

Brewster. Explication des couleurs de la nacre..... I. 187.
— Apparences que présentent dans la lumière polarisée les plaques minces de plusieurs substances solides et fluides. (Tr. phil., 1841).. I. 223 à 235.
— Bandes d'interférence produites par deux plaques inclinées..... I. 241.
— Compression du verre et des cristaux ..... I. 283.
— Polarisation de l'arc-en-ciel..... I. 297.
— Reproduction artificielle des halos..... I. 313.
— Double réfraction en rapport avec la cristallisation... I. 324. IV. 1766.
— Double réfraction du spath calcaire..... I. 326.
— Variation des axes optiques des cristaux..... I. 328.
— Compression des cristaux..... I. 330.
— Lois de la polarisation..... I. 332.
— Couleurs de l'apophyllite..... I. 352.
— Anneaux des cristaux comprimés..... I. 356.
— Variation des axes optiques des cristaux avec la réfrangibilité... I. 358.
— Structure de l'améthyste..... I. 359.
— Polarisation lamellaire ..... I. 360.
— Cause de la polarisation rotatoire du quartz. (Trans. Edimb., IX, 139)..... I. 374.
— Dichroïsme..... I. 382.
— Point neutre. (Phil. Mag., XXI, 444. C. Rend., XX, 80)..... I. 392.
— Lumière des aurores polaires..... I. 420.
— Raies du spectre solaire. (Trans. Phil., XII, 519)..... II. 431.
— Raies produites par les absorbants gazeux. (Phil. Mag., XXX, 461). II. 433.
— Nature des raies du spectre solaire..... II. 435. IV. 1771.
— Constitution du spectre solaire..... II. 459.
— Couleur des corps : impossibilité de la théorie de Newton. (Trans. Edim., XII, 538)..... II. 490.
— Couleurs subjectives. (Phil. Mag., IV, 353)..... II. 574.
— Couleurs complémentaires..... II. 586.
— Expérience des cœurs agités..... II. 597.
— Couleur excitée dans l'œil par la pression..... II. 612.
— Ondulations excitées dans la rétine..... II. 614.
— Lumière qui entoure une chandelle..... II. 649.
— Disparition successive des couleurs du prisme..... II. 908.
— Effet du mouvement de l'observateur sur le son..... III. 1125.
— Réponse aux objections de M. Airy contre la composition du spectre solaire. (Phil. Mag., XXX)..... III. 1207.
— Defense de son analyse du spectre par absorption, contre M. Draper. (Phil. Mag., XXXII)..... III. 1210.
— Réponse aux objections de M. Melloni contre la composition assignée au spectre solaire. (Phil. Mag., XXXII, 489)..... III. 1211.
— Raies sombres dans la lumière qui a traversé certaines vapeurs..... III. 1237.

Digitized by Google

Brewster. Décomposition et dispersion de la lumière dans l'intérieur des corps solides et fluides. (Phil. Mag., XXXII, 404)..... III. 1283.
— Dispersion intérieure du spath fluor. ..... III. 1284.
— Dispersion intérieure du sulfate de quinine..... III. 1286.
— Polarisation de la lumière dispersée..... III. 1288.
— Causes de la décomposition et de la dispersion intérieure de la lumière..... III. 1291.
— Couleurs naturelles des corps..... IV. 1375.
— Lois de la polarisation par réflexion à la surface des cristaux. IV. 1398.
— Différence de phases dans la réflexion métallique..... IV. 1405.
— Observation des angles de polarisation maximum et de polarisation rétablie..... IV. 1416.
— Emploi de la lumière polarisée dans les microscopes..... IV. 1439.
— Nouvelle polarisation de la lumière ..... IV. 1448.
— Ses préventions contre la théorie des ondulations..... IV. 1454.
— Bandes parallèles sur les feuilles de mica..... IV. 1471.
— Couleurs de l'arc-en-ciel..... IV. 1603.
— Polarisation de l'atmosphère..... IV. 1639.
— Son point neutre principal et secondaire..... IV. 1641.
— Observé par M. Babinet..... IV. 1646.
— Propriété nouvelle de la lumière manifestée par le chrysammate de potasse. (Philos. Mag. XXIX, 331)..... IV. 1558.
— Dichroïsme des cristaux..... IV. 1565.
— Pléochroïsme de l'améthyste..... IV. 1584.
— Propriétés optiques de la dichroïte..... IV. 1589.
— Effets de la compression sur les cristaux à un axe. Différence entre les cristaux positifs et négatifs..... IV. 1593.
Brongniart. Couleur des corps..... II. 494.
Brougham (lord). Recherches analytiques et expérimentales sur l'inflexion de la lumière. (C. Rend. XXX, 43, 47, 67)..... IV. 1498.
Brücke. Existence de la couleur brune. (Pogg. Ann., LXXIV, 461). III. 1232.
— Nouvelle analyse des couleurs des anneaux colorés. (Pogg. Ann. LXXIV, 582)..... IV. 1477.
Buffon. Couleurs subjectives simultanées..... II. 576.
Buys-Ballot. Influence de la vitesse du corps sonore ou de l'observateur sur le ton du son. — Observations sur la théorie de M. Doppler. (Pogg. Ann. LXVI, 321)..... III. 1185.
Burgraeve. Irradiation ..... II. 611.
Candolle (de). Coloration des parties vertes des végétaux produite par la lumière ..... III. 1095.
— Action de la lumière sur les plantes..... III. 1096.
— Causes de l'action exercée par la lumière sur les plantes..... III. 1127.
— Nature de l'action de la lumière sur les plantes..... III. 1138.

Digitized by Google

Carradori. Action de la lumière sur les plantes..... III. 1118.
Cassini. Lumière zodiacale..... II. 405.
Cauchy. Théorie mathématique de la lumière. *Voyez* ce mot. (C. Rend. II, 182, 207, 341. 364, 427, 455; VII, 751, 865, 907, 953, 985, 1044; VIII, 39, 114, 146, 189, 229, 272, 327, 374, 432, 459, 505, 582, 589, 659, 767, 597, 719, 779, 811, 985; IX, 1, 59, 91, 283, 359, 558, 588, 676, 727, 726, 764; X, 266, 347, 905, 960; XV, 418, 542, 910, 1038; XVIII, 961; XXIII, 331).. I. 1 à 67.
— Vitesse de propagation des ondes..... I. 70.
— Equation de la surface de l'onde. (C. Rend. XIII, 184, 188, 319). I. 100.
— Calcul des intégrales de la diffraction..... I. 189.
— Théorie directe et générale de la diffraction et des ombres. (C. Rend. XV, 554, 573..... I. 190.
— Rayons diffractés par réflexion. (C. Rend. XV, 712)..... I. 196.
— Parabole de diffraction..... I. 198.
— Diffraction du son. (C. Rend. XV, 759)..... I. 200.
— Causes de la sensation du son et de la lumière. (C. Rend. XV, 813). I. 203.
— Théorie des anneaux colorés. — Anneaux colorés à centre gris sur les métaux..... I. 221.
— Théorie mathématique de la polarisation rotatoire..... I. 267.
— Lois de la dispersion circulaire. (C. Rend. XV, 1000, 1076)..... I. 274.
— Aberration. — Atmosphère éthérée de la terre..... II. 403.
— Lumière zodiacale..... II. 404.
— Conjectures..... II. 429.
— Causes des raies du spectre..... II. 438.
— Direction des vibrations lumineuses dans le rayon polarisé... IV. 1368.
— Priorité dans la théorie de la polarisation elliptique..... IV. 1389.
— Accord de ses formules avec les expériences de M. Jamin sur la réflexion métallique..... IV. 1404, 1409, 1422.
— Rapport concernant un mémoire de M. Jamin, sur la réflexion à la surface des corps transparents..... IV. 1431.
— Théorie de la polarisation elliptique..... IV. 1442.
— Théorie de la polarisation du quartz..... IV. 1503.
— Accord parfait de ses formules théoriques relatives à la polarisation du quartz avec les formules empiriques et les expériences de M. Jamin..... IV. 1509.
— Polarisation chromatique..... IV. 1735.
— Lumière réfléchie par la surface d'un corps opaque, et spécialement d'un métal..... IV. 1736.
— Mouvement d'un système de molécules. (C. Rend., XXVII, 93.) — Conditions relatives aux limites des corps qui conduisent aux lois de la réflexion et de la réfraction. (C. Rend., XXVII, 99.)..... IV. 1738.
— Fonctions isotropes et hémitropes. — Actions ternaires, forces catalytiques..... IV. 1739.

Digitized by Google

Cauchy. Lois de la polarisation des rayons lumineux dans les cristaux (C. Rend., XXVII, 999). Trois espèces de rayons lumineux..... IV. 1740.
— Mécanique moléculaire; promesse. (C. Rend., XXVIII, 2.) — Rayons lumineux simples et rayons évanescents. (C. Rend., XXVIII, 25.).. IV. 1741.
— Réflexion et réfraction; nouveaux rayons réfléchis et réfractés. (C. Rend., XXVIII, 57.)..... IV. 1742.
— Détermination de l'indice de réfraction et de l'angle des surfaces (Compte Rend., XXVIII, 161.) — Rayons réfléchis et réfractés par les lames minces, et anneaux colorés. (C. Rend., XXVIII, 333.)..... IV. 1743.
— Mouvements par ondes planes; coëfficients limitateurs. (C. Rend., XXIX, 606.)..... IV. 1744.
— Vibrations infiniment petites des systèmes de points matériels. (C. Rend., XXIX, 643.) — Direction des vibrations lumineuses dans le rayon polarisé. (C. Rend., XXIX, 645.)—Vibrations d'un double système de molécules et de l'éther contenu dans un corps cristallisé. (C. Rend., XXIX, 728, 761.) Equations auxiliaires et valeurs moyennes des inconnues..... IV. 1745.
— Systèmes isotropes de points matériels. (C. Rend., XXX, 2.) — Vibrations d'un double système de molécules et de l'éther contenu dans un corps cristallisé. — Perturbations des mouvements vibratoires. (C. Rend., XXX, 17.)..... IV. 1746.
— Propagation de la lumière dans les milieux isophanes. (C. Rend., XXX, 33.)..... IV. 1747.
— Vibrations de l'éther dans les milieux qui sont isophanes par rapport à une direction donnée. (C. Rend., XXX, 93.) — Différence de marche entre deux rayons lumineux. Epiphonème. Regrets que M. Cauchy inspire. (C. Rend., XXX, 97.)..... IV. 1748.
Cavalleri. Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1232.
Challis. Nouvelle théorie de la polarisation de la lumière. (Philos. Mag., XXX, 365.)..... IV. 144.
— Sur la nouvelle polarisation observée par sir David Brewster. IV. 1452.
— Théorie de l'aberration de la lumière. (Philos. Mag., XXVII, 321; XXVIII, 90, 176, 393)..... IV. 1758.
Chaulne (le duc de). Anneaux colorés..... I. 264.
Chevalier (Charles). Objectif pour la photographie..... II. 705.
— Teintes de la plaque daguerrienne correspondantes aux diverses substances accélératrices..... II. 726.
Chevreuil. Effet de contraste..... II. 577.
— Effets de couleurs..... II. 581.
— Théorie du contraste..... II. 587.
— Contraste simultané..... II. 594.
— Action de la lumière sur le bleu de Prusse. (C. Rend., XXIX, 294). IV. 1717.
Cheiselat. Bromoforme. (C. Rend., XX, 767.)..... II. 725.

Digitized by Google

Choiselat. Théorie chimique des épreuves daguerriennes. (C. Rend., XVII, 173, 1070; XIX, 338.) ..... II. 755.
Christie. Hauteur de l'aurore polaire ..... II. 418.
— Action magnétique des rayons solaires ..... III. 1007.
Claudet. Substance accélératrice. (C. Rend., XII, 1059.) ..... II. 705.
— Mode de polissage des plaques daguerriennes ..... II. 715.
— Chlorure d'iode employé à la photographie ..... II. 720.
— Foyer chimique, foyer optique et foyer photogénique ..... II. 729.
— Effet négatif des rayons rouges, orangés et jaunes ..... II. 774.
— Rayons négatifs ou protecteurs ..... III. 960.
— Théorie des principaux phénomènes de la photographie. (Philos. Mag., XXXIX, Brochure publiée chez Lerebours, 1850) ..... IV. 4689.
— Photographomètre ..... IV. 4691.
Clausius. Nature des parties de l'atmosphère terrestre qui produisent la réflexion de la lumière. (Pogg. Ann., LXXVI, 161.) ..... IV. 4595.
— Couleur bleue et rouge du ciel, aurore. (Pogg. Ann., LXXVI, 488). IV. 4599.
Clergot. Influence de la chaleur sur le pouvoir rotatoire ..... IV. 4543.
Colla. Hauteur des aurores polaires ..... II. 422.
— Lueur magnétique ..... II. 422.
Courtépée. Sur la chaleur rayonnante ..... IV. 4664.
Crahay. Raies longitudinales du spectre solaire ..... III. 1227.
Daguerre. Association avec Niepce ..... II. 968.
— Découverte de la daguerréotypie ..... II. 699.
— Instruction pratique de photographie. (Brochure in-8°) ..... II. 710.
— Observation sur les images de Moser ..... II. 884.
— Phosphorescence du sulfate de baryte calciné ..... III. 990.
— A appris d'Isidore Niepce le secret de la photographie ..... IV. 4688.
Dale. Polarisation elliptique ..... IV. 4383.
— Projet d'expérience pouvant indiquer la direction des vibrations dans le rayon polarisé ..... IV. 4388.
Dalton. Particularités de sa vision. Daltonisme. (Manchest. Mem., V, 1, 28) ..... II. 625.
Daniel. Raies produites par les absorbants gazeux ..... II. 433.
— Raies sombres dans la lumière qui a traversé certaines vapeurs. III. 1237.
D'Arcy. Mesure de la durée des impressions de l'œil ..... II. 562.
Davy. Premières expériences de photographie. Description d'un procédé pour copier des peintures sur verre et pour faire des silhouettes, par l'action de la lumière sur le nitrate d'argent (Londres, 1802) ..... II. 695.
— Prétendue impossibilité de la photographie ..... II. 748.
Darwin. Persistance des images ..... II. 564.
— Couleurs subjectives ..... II. 574.
— Influence des couleurs ..... II. 584.
Délezenne. Observations sur les couronnes ..... I. 298.

Digitized by Google

Déloseaux. Bandes hyperboliques..... I. 352.
Delille. Phosphorescence de l'agaric de l'olivier..... III. 985.
Desains (Paul). Réflexion de la chaleur rayonnante..... II. 679.
— Rotation de plan de polarisation de la chaleur sous l'influence magnétique. (Ann. de Ch. et de Ph., XXVII, 428)..... III. 1060.
— Sur les anneaux de Newton. (Ann. de Ch. et de Phys., 1850)... IV. 1480.
— Recherches sur la chaleur rayonnante..... IV. 1667.
— Polarisation de la chaleur. (Ann. de Ch. et de Ph., XXVII, 109). IV. 1675, 1677.
Desloiseaux. Astérie du diamant..... I. 398.
Desseignes. Causes de la phosphorescence..... III. 994.
— Recherches sur la phosphorescence..... III. 999.
Donné. Gravure des épreuves photographiques..... II. 707.
Doppler. Lumière colorée des étoiles doubles et quelques autres astres du ciel. (Pogg. Ann., XXIII, 1228. — LXVI, 321. — LXVIII, 1). III. 1165 à 1181.
— Influence de la vitesse du corps sonore ou lumineux ou de l'observateur sur le ton du son, ou la teinte de la couleur..... III. 1166 à 1181.
— Influence de la vitesse du corps lumineux ou de l'observateur sur la teinte de la couleur. Réponse à M. Buys-Ballot. (Pogg. Ann., LXVIII, 1.)..... III. 1189.
— Objection contre sa théorie de l'influence de la vitesse sur le son ou la couleur..... III. 1200.
— Perfectionnements récents apportés à la science des appareils d'acoustique, d'optique et d'astronomie optique. (Pogg. Ann., LXXII, 530. Bœhm. Gesell., 5.)..... IV. 1749.
— Diastamomètre optique. (Pogg. Ann., LXXII, 530. Bœhm. Gesell., V, 3, 767..... IV. 1750.
— Moyen de rendre sensible et de mesurer les mouvements périodiques d'une très-grande vitesse. (Pogg. Ann., LXXII, 530. Bœhm. Gesell., V, 3, 767.)..... IV. 1750.
— Poli des miroirs. Microscope monstre. Appareil servant à mesurer exactement les moindres déviations du rayon lumineux. (Pogg. Ann., LXXIII, 530. Bœhm. Gesell., IV, 5, 91, 508)..... IV. 1750.
— Dioptomètre. Photomètre. *Idem*..... IV. 1752.
— Vitesse des ondulations des molécules d'air dans le son. *Idem*. IV. 1752.
— Déviation rotatoire. Vision. *Idem*..... IV. 1753.
— Astronomie optique. *Idem*..... IV. 1754.
— Critique des explications données de l'aberration de la lumière. (Bœhm. Gesell., V, 3, 747)..... IV. 1756.
Dove. Durée des éclairs. (Pogg. Ann., XXXV, 377.)..... II. 567.
— Formation du blanc par superposition des images complémentaires. (Pogg. Ann., LXXI, 97.)..... IV. 1570.
— Reproduction du blanc par la superposition des couleurs objectives et subjectives; par l'action des couleurs complémentaires sur les rétines

Digitized by Google

des deux yeux ; par absorption ; par rotation du plan de polarisation. (Pogg. Ann., LXXI, 97, 112. — LXXV, 526.)..... IV. 1373.
Dove. Dépolarisation de la lumière. (Pogg. Ann., LXXI, 115.)... IV. 1382.
— Stephanoscope ; appareil à montrer les couronnes, (Pogg. Ann., LXXI, 115.) ..... IV. 1621.
Draper. Iodure d'argent non décomposé par la lumière..... II. 805.
— Effets chimiques des rayons solaires. Rayons chimiques et calorifiques. (Philos. Mag., XXI, 453 ; XXII, 120, 161, 360 ; XXIII, 161, 356, 388 ; XXVI, 465 ; XXX, 87.)..... III. 942.
— Réclamation de priorité sur M. Moser..... III. 943.
— Apparences lumineuses et lumière latente ; rayons tithoniques. III. 944.
— Espaces tithonographiques et tithonotypes..... III. 945.
— Influence des rayons solaires sur les propriétés des corps élémentaires..... III. 946.
— Décomposition de l'acide carbonique par les feuilles sous l'influence la lumière solaire.—Spectres des réseaux.—Absorption des rayons chimiques..... III. 948.
— Allotropie du chlore.— Influence de la lumière sur le chlore.. III. 951.
— Différence entre les rayons émis par la chaux incandescente et l'étincelle électrique..... III. 953.
— Rayons négatifs ou protecteurs..... III. 954.
— Production de la lumière par la chaleur.— Apparition successive des couleurs du spectre..... III. 964.
— Influence des rayons du spectre sur les plantes..... III. 1131.
— Production de la lumière par l'action chimique. (Philos. Mag., XXX, 345 ; XXXII, 100..... III. 1234.
Duboscq. Appareil fixateur de la lumière électrique..... III. 1244.
Dubrunfaut. Propriétés rotatoires des sucres sous l'influence de la chaleur. (Ann. de Ch. et de Phys., XVIII, 99)..... IV. 1540.
Dufay. Recherches sur la phosphorescence..... III. 998.
Dufresnoy. Rapport des propriétés physiques et minéralogiques des cristaux..... I. 372.
Dumas. Différence optique entre l'acide arsénieux vitreux et l'acide arsénieux opaque..... I. 376.
— Epaisseur de la couche sensible ..... II. 755.
Dupasquier. Lumière bleue dispersée par une feuille d'or et par d'autres substances solides et liquides. (Ann. Ch. et Phys.)..... III. 1293.
Durand de Caen. Recherche et fuite de la lumière par les plantes. (Thèse pour le doctorat : 1849)..... III. 1132, 1143.
Durocher. Couleur bleue de l'eau des glaciers..... IV. 1657.
Dutrochet. Forces épipoliques..... II. 787.
— Tendance des tiges vers la lumière. (C. Rend. XVI, 1120 ; XVII, 1085 ; XVIII, 63)..... III. 1099.

Digitized by Google

Dutrochet. Tendance des racines à fuir la lumière. (C. Rend. XVIII, 1169; XX, 1257; XXII, 320) ..... III. 1106.
— Nature de l'action de la lumière sur les plantes. (C. Rend. XVIII, 194, 849) ..... III. 1139.
Earnshaw. Rayons circulairement polarisés par réflexion ..... I. 115.
Edwards. Décalque des épreuves daguerriennes ..... II. 708.
Elliot. Lumière solaire ..... II. 458.
Engefield. Pouvoir phosphorescent prépondérant des rayons bleus. III. 999.
Erman. Recherches sur la nature des raies brillantes et obscures du spectre. (Pogg. Ann. LXIII, 531) ..... II. 440 à 455.
— Raies longitudinales du spectre solaire ..... III. 1219.
— Raies produites par la décomposition prismatique : blanc du premier ordre ..... III. 12.
Ettings Hausen (von). Explication des houppes colorées de la lumière polarisée ..... IV. 1343.
— Déviation des houppes par le parallélipipède de Fresnel ..... IV. 1354.
Euler. Théorie des couleurs simples ..... II. 471.
— Théorie de la couleur des corps. (*Nova theoria lucis et colorum. Berlin.* 1746) ..... II. 509.
Faraday. Moyen de mettre en évidence la forme réelle des objets en mouvement ..... II. 570.
— Action magnétique des rayons solaires ..... III. 1013.
— Magnétisation de la lumière. — Illumination des lignes de force magnétique. (Trans. Philos., 1846) ..... III. 1011 à 1036.
— Idées sur la nature des rayons lumineux et les phénomènes de la lumière. (Philos. Mag. XXVIII, 345, 532) ..... III. 1147.
— La cristallisation sous l'influence magnétique ..... III. 1068.
Farqhuarson. Hauteur de l'aurore polaire ..... I. 419.
Faye. Arc-en-ciel blanc produit sur le brouillard ..... IV. 1621.
Fechner. Couleurs subjectives. (Pogg. Ann. XLIV, 221, 513; XLV, 227; L, 193, 427) ..... II. 592.
Fisher. Action des rayons solaires sur quelques préparations chimiques ..... III. 975.
Fizeau. Etude des lignes d'interférence ..... II. 553.
— Dispersion de double réfraction ..... II. 556.
— Substance accélératrice ..... II. 706.
— Fixation des images daguerriennes. (C. Rend. X, 488) ..... II. 706.
— Gravure des épreuves photographiques. (C. Rend. XIX, 119) . II. 707 à 741.
— Brôme employé à la photographie. (C. Rend. XII, 1189) ..... II. 721.
— Procédé du fixage au chlorure d'or. (C. Rend. XI, 237) ..... II. 735.
— Reproduction des épreuves daguerriennes par la galvanoplastie. (C. Rend. XII, 401, 509, 957) ..... II. 737.

Digitized by Google

Fizeau. Explication des phénomènes de Moser. (C. Rend. xv, 896; xix, 397)..... II. 879, 880.
— Rayons négatifs ou protecteurs. — Nouvelles raies du spectre solaire..... II. 955.
— Détermination de la vitesse de propagation de la lumière. (C. Rend. xxix, 90)..... III. 1189.
— Effet du mouvement du corps sonore ou de l'observateur sur le son perçu..... III. 1197.
— Effet des vitesses relatives du corps lumineux et de l'observateur sur la couleur de la lumière..... III. 1199.
— Objections contre ses expériences relatives aux modifications du son par la vitesse du corps sonore ou de l'observateur..... III. 1202.
— Phénomènes d'interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche. (Ann. Ch. et Phys., 1849)..... IV. 1451.
— Longueurs d'ondes des rayons calorifiques..... IV. 1668.
— Interférences des rayons calorifiques. (C. Rend., xxv, 447, 485). III. 1678.
— Diffraction de la chaleur rayonnante..... IV. 1681.
— Action photographique des rayons rouges. (C. Rend., xxiii, 676). IV. 1716.
— Polarisation chromatique produite par les lames épaisses cristallisées. (C. Rend., xxii, 422)..... IV. 1760.
Flauguergues. Réfraction de la lumière dans le vide..... IV. 1494.
Forbes. Polarisation de l'atmosphère..... I. 314.
— Polarisation de la chaleur..... II. 672.
— Nature des raies du spectre solaire..... IV. 434.
— Idées relatives à une classification des couleurs..... III. 1272.
Fordos. Sel d'or pour la photographie..... II. 736.
Foucault. Dispersion de double réfraction..... II. 556.
— Mode de polissage des plaques daguerriennes..... II. 715.
— Nouvelle préparation pour la plaque daguerrienne..... II. 727.
— Rayons négatifs ou protecteurs. — Nouvelles raies du spectre solaire..... III. 955.
— Objection contre la composition assignée au spectre solaire, par sir David Brewster..... III. 1206.
— Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1231.
— Raies dans la lumière des corps qui brûlent aux pôles de la pile..... III. 1243.
— Phénomène des interférences, entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche. (Ann. Ch. et Phys., 1849). II. 553. IV. 1451.
— Polarisation chromatique produite par les lames épaisses cristallisées. (C. Rend. xxii, 422)..... IV. 1760.
— Interférences des rayons calorifiques. (C. Rend. xxv, 447, 485). IV. 1678.
— Diffraction de la chaleur rayonnante..... IV. 1681.

Digitized by Google

Foucault. Action photographique des rayons rouges. (C. Rend., XXIII, 676, 856) ..... IV. 1716.
— Nouvelle couche sensible des plaques daguerriennes..... IV. 1717.
Fournet. Rayons crépusculaires..... I. 317.
Fraunhofer. Spectres des réseaux. Longueurs d'ondulation. (Alhandl., 1818. Fraunhofer. Institut.) ..... I. 184. III. 1266.
— Longueurs d'ondes mesurées au moyen des spectres des réseaux. I. 186.
— Raies du spectre solaire..... II. 431.
— Différence de la lumière solaire et de la lumière électrique... III. 996.
Fresnel. Créateur de la théorie des ondulations..... I. 69.
— Explication de la double réfraction..... I. 85.
— Axes d'élasticité..... I. 87.
— Surface de l'onde..... I. 89.
— Vitesses des rayons ordinaire et extraordinaire..... I. 91.
— Vérité de sa théorie..... I. 97.
— Étude de la surface de l'onde..... I. 98.
— Rayons polarisés à angle droit..... I. 110.
— Démonstration de la loi de Brewster..... I. 115.
— Angle de polarisation du rayon réfracté..... I. 118.
— Son parallélipipède..... I. 119.
— Explication complète de la diffraction..... I. 174.
— Double réfraction des prismes de verre comprimé..... I. 284.
— Reproduction artificielle de l'arc-en-ciel..... IV. 1605.
— Analyse de deux mémoires qu'on croyait perdus..... IV. 1727.
Froment. Appareil mettant en évidence la chaleur produite au pôle positif de la pile..... III. 1088.
Fyfe. Théorie des phénomènes de la photographie. (Bibl. Univ., XXVIII, 389)..... II. 769.
Gaimard. Phosphorescence de la mer..... III. 985.
Galle. Théorie des halos..... I. 305.
— Arcs tangents. (Pogg. Ann., XLIX, 1, 241, 632)..... I. 310.
— Observations et mesures de l'arc-en-ciel. (Pogg., LXIII, 342).. IV. 1614.
Gardner. Action de la lumière sur les plantes. (Phil. Mag., XXIV, 1). III. 1108.
— Action de la lumière jaune et de la lumière indigo sur la végétation ..... III. 1122 à 1128.
— Sur les fonctions des plantes..... III. 1145.
Gaudin. Épreuve photographique..... II. 705.
— Fixage des épreuves daguerriennes ..... II. 736.
— Théorie des phénomènes de la photographie ..... II. 772.
— Rayons continuateurs..... III. 963.
— Expériences sur les rayons continuateurs..... IV. 1716.
Gay-Lussac. Action chimique de la lumière solaire..... II. 683.
— Action magnétique des rayons solaires ..... III. 1006.

Digitized by Google

Gelis. Sel d'or pour la photographie..... II. 736.
Gergonne. Couleurs subjectives..... II. 594.
Goethe. Pouvoir phosphorescent prépondérant des rayons bleus. . III. 999.
Green. Polarisation sur les substances très-réfringentes..... IV. 1385, 1386.
Grimaldi. Conçoit la théorie des ondes..... I. 69.
— Première expérience de diffraction..... I. 166.
Grosser (de). Causes de la phosphorescence ..... III. 992.
— Phosphorescence du diamant..... III. 998.
Grotthuss (de). Recherches sur la phosphorescence..... III. 1000.
Grove. Gravure des épreuves daguerriennes ..... II. 707.
— Procédé de gravure des épreuves daguerriennes..... II. 743.
Guillot-Sagney. Photographie sur papier..... IV. 1716.
Haidinger. Houppes de la lumière polarisée. (Pogg. Ann., LXVIII, 305)... ..... I. 334, 345.
— Loupe dichroscopique..... IV. 1295.
— Houppes colorées dans la lumière polarisée. (Pogg. Ann., LXVIII, 73; LXIX, 29)..... IV. 1327 à 1364.
— Houppes des milieux qui polarisent la lumière dans deux directions rectangulaires. (Pogg. Ann., LXVIII, 305)..... IV. 1347.
— Couleurs complémentaires des houppes dans la lumière polarisée. (Pogg. Ann., LXVII, 405)..... IV. 1362.
— Note sur la couleur des corps..... IV. 1437.
— Dichrophane..... IV. 1439.
— Bandes parallèles jaunes et noires du mica. (Pogg. Ann., LXXVII, 219)..... IV. 1470.
— Sur les anneaux dans les milieux dichromatiques de Loeve. (Pogg. Ann., LXX, 403)..... IV. 1475.
— Nouvelle apparition optique, croix de St-André..... IV. 1476.
— Chatoiement des surfaces cristallines..... IV. 1296.
— Chatoiement superficiel orienté et absorption de la lumière. (Pogg. Ann., LXXVI, 99; LXX, 574; LXXI, 321)..... IV. 1561.
— Chatoiement métallique de l'hypersthène. (Pogg. Ann., LXXVI, 294). IV. 1560.
— Pléochroïsme des tribunaux. (Pogg. Ann., LXXV, 1)..... IV. 1565.
— Pléochroïsme de l'améthyste. (Pogg. Ann., LXX, 531)..... IV. 1578.
— Propriétés optiques de l'andalousite. (Pogg. Ann., LXI, 295). IV. 1587.
— Propriétés optiques du diaspore. (Pogg. Ann., LXI, 307)... IV. 1591.
Haldat (de). Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1234.
— Sur les causes de la diffraction: elle reste la même quand le corps diffringent est soumis à l'influence des agents les plus énergiques. IV. 1490.
— Couleurs accidentelles de l'eau. (Mém. de l'Ac. de Nancy, 1848). II. 1639.
Hamilton. Découverte de la réfraction cônique..... I. 93.
— Réfraction cônique intérieure..... IV. 1320.
— Réfraction cônique extérieure..... IV. 1325.

Digitized by Google

Hansteen. Arc lumineux de l'aurore polaire..... II. 417.
— Hauteur des aurores polaires..... II. 418.
Harris. Cas singuliers de daltonisme..... II. 627.
Hassenfratz. Couleur bleue du ciel..... II. 291.
— Couleur des corps..... II. 491.
Hay. Nomenclature des couleurs..... III. 1276.
Heinrich. Recherches sur la phosphorescence..... III. 1000.
Herschell père (sir William). Anneaux colorés..... I. 246.
— Constitution du soleil..... II. 456.
— Répartition de la chaleur dans le spectre. (Trans. Phil., 1800). II. 642.
Herschell fils (sir John). Relation des plages plagiédrales avec le sens de la rotation..... I. 263.
— Polarisation rotatoire du quartz..... I. 264.
— Actinomètre..... I. 291.
— Variation des axes optiques des cristaux..... I. 328.
— Teinte équatoriale, variation des anneaux des cristaux..... I. 351.
— Couleurs de l'apophyllite..... I. 352.
— Anneaux sans lumière polarisée..... I. 355.
— Réfraction de la lumière colorée dans les cristaux..... I. 358.
— Nature des raies du spectre..... II. 434.
— Rayons rouges extrêmes du spectre..... II. 777.
— Recherches photographiques..... II. 778.
— Analyse chimique du spectre solaire..... II. 779.
— Étendue nouvelle du spectre visible..... II. 780.
— Propriété chimique de l'extrémité rouge du spectre..... II. 780.
— Action des milieux absorbants sur les rayons chimiques. Spectre thermique..... II. 781.
— Thermographie. — Action des rayons du spectre sur les couleurs végétales..... II. 782.
— Action de la lumière sur la rétine. — Impressions invisibles apparaissant sous l'influence de l'haleine..... II. 783.
— Amélioration des procédés photographiques..... II. 784.
— Maximum d'action photogénique..... II. 794.
— Iodure d'argent impressionné et non impressionné..... II. 804.
— Vision des animaux..... II. 811.
— Observations critiques sur les expériences de Moser..... II. 888.
— Inconvénient de sa méthode..... II. 890.
— Couleurs superficielles et dispersion épipolique..... III. 1284.
— Couleur gris-lavande..... III. 1292.
— Dispersion par l'acte de la polarisation..... IV. 1334.
— Polarisation par les substances très-réfringentes..... IV. 1383.
— Observations sur l'expérience proposée par M. Dale..... IV. 1391.
— Pléochroïsme des cristaux..... IV. 1565.

Digitized by Google

Herschel. Image photographique colorée..... IV. 1695.
Hessler. Action chimique de la lumière. (Pogg. Ann., xxxv, 578). II. 683.
Hombrés-Firmas (d'). Action magnétique des rayons solaires.. III. 1007.
Hooke. Première idée des vibrations transversales et du système des ondulations..... I. 84. 213.
Hulme. Phosphores naturels et phosphorescence spontanée..... III. 984.
— Diminution de la phosphorescence avec la raréfaction de l'air. III. 993.
Humboldt (de). Coloration des parties vertes des végétaux produite par la lumière..... III. 1095.
Hunt. Thermographie ou dessins produits par la chaleur. (Philosophical Magazine, 1840)..... III. 905 à 910.
— Action des rayons chimiques sur quelques préparations photographiques et sur certaines substances chimiques. (Ph. Magaz., xxvii, 276). III. 973.
— Influence de la lumière sur la germination, la végétation et l'accroissement des plantes. (Phil. Mag., xxii, 270; xxiv, 96)..... III. 1128.
— Image photographique colorée..... IV. 1695.
Hurlimann. Gravure des épreuves daguerriennes..... II. 763.
Huyghens. Créateur de la théorie des ondes..... I. 69.
— Lois de la réfraction. Principe d'Huyghens..... I. 78.
— Explication de la double réfraction..... I. 83.
— Ellipsoïde. Rapport avec les cristaux positifs et négatifs..... I. 92.
— Découverte de la polarisation par double réfraction..... I. 101.
— Vengé des attaques de M. Biot..... IV. 1754.
Jamin. Sur les houppes colorées de M. Haidinger. (C. Rend., xxvi, 197)..... IV. 1332.
— Réflexion métallique. (Ann. Chim. et Phys. Thèse de doctorat. Pogg. Ann., vol., supp. 299)..... IV. 1397.
— Analyse de la lumière polarisée elliptiquement. (C. Rend., xxx, 92)..... IV. 1409.
— Phénomènes présentés par les réflexions multiples à la surface des métaux..... IV. 1413.
— Sur la couleur des métaux. (C. Rend., xxv, 714)..... IV. 1417.
— Rapport de M. Babinet sur le mémoire relatif aux couleurs des métaux..... IV. 1428.
— Réflexion de la lumière à la surface des corps transparents. (C. Rend., xxvi, 383)..... IV. 1431.
— Sur la polarisation du quarz. (C. Rend., xxx, 99)..... IV. 1502.
Jéricham. Sur les anneaux colorés. (Pogg. Ann., liv, 109)..... IV. 1481.
— Gyréidoscope. (Pogg. Ann., liv, 139)..... IV. 1482.
— Thermomicromètre. (Pogg. Ann., liv, 139)..... IV. 1485.
Jurin. Couleurs accidentelles..... II. 571.
Karsten. Images électriques. (Poggend. Ann., lvii, 492; lviii, 115; lx, 1)..... IV. 943—925.
— Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1225.

Digitized by Google

Kellen. Optique mathémathique..... I. 51.
Kessler. Vérification expérimentale d'un phénomène prévu par M. Cauchy..... I. 30.
Knigt. Tendance de certaines parties des végétaux à fuir la lumière..... III. 1106.
Knight. Photographomètre..... IV. 1698.
Knoblauch. Raies longitudinales du spectre. (Poggend. Ann. LXXIV, 389)..... III. 1224.
— Sur la chaleur rayonnante. (Pogg. Ann., LXX, 205, 337; LXVI, 1). IV. 1665.
— Double réfraction de la chaleur rayonnante. (Pogg. Ann., LXXIV, 1). IV. 1669.
— Polarisation de la chaleur rayonnante par réflexion. (Pogg. Ann., LXXIV, 161)..... IV. 1670.
— Polarisation de la chaleur rayonnante par réfraction simple. (Pogg. Ann., LXXIV.; 170)..... IV. 1672.
— Polarisation de la chaleur rayonnante par double réfraction. (Pogg. Ann., LXXIV, 177)..... IV. 1674.
— Inflexion et dispersion de la chaleur rayonnante. (Pogg. Ann., LXV, 381)..... IV. 1682.
Knorr. Images thermographiques. (Pogg. Ann., LVIII, 321, 563; LXI, 569 LXII, 464; 631, 506; LX, 18) ..... III. 899—905.
— Action magnétique des rayons solaires..... III. 1014.
Kühn. Raies longitudinales et transversales du spectre solaire. (Pogg. Ann.; LXXV, 455)..... III. 1229.
Laborde. Projet d'expérience pour la détermination de la vitesse de la lumière..... III. 1262.
Lafond. Lueurs atmosphériques..... II. 475.
Lamartine (de). Anthélles..... I. 300.
Lambert. Photométrie..... I. 65.
— Halo..... I. 312.
— Pyramide des couleurs..... III. 1272.
Lamennais (de). De la nature et de l'art..... II. 776.
Lamont. Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1230.
Laplace. Action des corps lumineux sur la lumière qui en émane.. I. 92.
— Converti à la théorie des ondulations..... I. 182.
Laugier. Rayons crépusculaires. (C. Rend., XVIII, 1168)..... I. 317.
Laurent (Auguste). Préparation nouvelle de l'acide borique; reconnaissance de M. Biot..... IV. 1731.
Laurent. Théorie de la polarisation mobile..... I. 276.
— Analyse de ses mémoires sur la théorie mathématique de la lumière..... IV. 1749.
Lefrançois. Irradiation..... II. 611.
Léonard de Vinci. Composition et formation des couleurs... III. 1272.
Lerebours. Foyer optique, foyer chimique et foyer photogénique. II. 731.

Digitized by Google

Lerebours. Durée du temps de l'exposition à la lumière de la plaque daguerrienne..... II. 734.
— Rayons négatifs ou retardateurs. (C. Rend., xxv, 763)..... III. 955.
Lespiau. Application du saccharimètre à l'analyse des urines des diabétiques..... IV. 1535.
Levandouski. Appareil régulateur de la photographie..... II. 730.
Levret. Polisseur des plaques daguerriennes..... II. 716.
Libri. Fait singulier de vision..... II. 618.
Lloyd. Leçons sur la théorie ondulatoire de la lumière. (Dublin, 1839). I. 68.
— Réfraction cônique démontrée expérimentalement..... I. 94.
— Intensité des rayons réfléchis et réfractées..... I. 114.
— Polarisation dans la réfraction cônique. (Phil. Mag., xi, 112, 207)..... I. 120.
— Explication des faits observés par M. Brewster, sur les apparences des plaques minces dans la lumière polarisée..... I. 235.
— Polarisation par les lames minces..... IV. 1389.
Loewe. Anneaux colorés dans certains fluides ou milieux dichromatiques. (Pogg. Ann., lxx, 403)..... IV. 1472.
Lottin. Description de l'aurore polaire..... II. 411.
Lubbock. Optique mathématique..... I. 51.
Luynes (Duc de). Gravure des images photographiques..... II. 743.
Maas. Incandescence et couleurs produites au sein des liquides, sous l'influence des courants électriques. (Bulletin de l'Acad. de Brux.). III. 1089.
Macaire. Diminution de la phosphorescence avec la raréfaction de l'air..... III. 993.
Mac-Cullagh. Attaque contre la théorie de M. Cauchy..... I. 10.
— Réfutation de ses objections..... I. 14.
— Indices de réfraction des métaux..... I. 54.
— Intensité des rayons réfléchis et réfractés..... I. 112.
— Théorie de la polarisation rotatoire du quartz. (Irish Tr., i, 47; Phil. Mag., xxii, 399, 492)..... I. 265.
— Double réfraction du spath calcaire..... I. 326.
Magnus. Propriété mathématique de la surface de l'onde..... I. 98.
— Réfraction de la lumière dans le vide. (Pogg. Ann., lxxi, 408). IV. 1492.
Mairan. Crépuscule..... I. 292.
Maistre (Comte de). Couleur des corps..... II. 491.
Malaguti. Action des écrans sur les rayons chimiques..... II. 796.
— Défendu contre M. Edm. Becquerel..... II. 887.
Malus. Théorie de la double réfraction. (Paris, 1810)..... I. 83.
— Découverte de la polarisation par réflexion. (Mém. d'Arcueil, ii, 143, 254)..... I. 101.
— Angle de polarisation variable avec les diverses substances..... I. 103.
— Loi du carré du cosinus. Lumière partiellement polarisée..... I. 105.

Digitized by Google

Martens. Appareil panoramique..... II. 707.
Martin. Soins dans la préparation des plaques daguerriennes... II. 871.
Martins (Charles). Couleur de l'eau des glaciers..... IV. 1657.
Marx. Images de Moser célèbres..... III. 941.
Masson. Images produites par l'électricité. (C. Rend., XVI, 762; XVIII, 289; XIX, 325)..... III. 925 à 928.
— Appareil d'induction pouvant mettre en évidence la lumière et la chaleur produites aux pôles de la pile..... III. 1089.
— Chaleur rayonnante. (C. Rend., XXV, 936; XXVII, 532)..... IV. 1664.
Mathiessen. Chaleur de la lumière zodiacale..... II. 411.
— Extension du spectre solaire. (C. Rend., XIX, 112; XXV, 548). . II. 468.
— Expériences sur le pouvoir rotatoire qu'acquièrent diverses substances sous l'influence magnétique..... III. 1054.
Matteucci. Constitution de la veine liquide. (C. Rend., XXII, 260). II. 567.
— Interférence des rayons calorifiques. Objections..... II. 690.
— Taches circulaires de Priestley..... III. 925.
— Expériences sur la phosphorescence. (C. Rend., XV, 288; XVII, 309)..... III. 1004.
— Action électrique des rayons solaires..... III. 1012.
— Phénomènes de chaleur, de lumière et de transport produits aux pôles de la pile..... III. 1083.
— Phosphorescence des poissons et de la mer: différence essentielle entre ces deux phosphorescences..... IV. 1719.
Mayer. Diagramme des couleurs..... III. 1275.
Melleville. Accès de Newton..... I. 76.
Melloni. Coloration de la rétine et du cristallin. (Bib. Univ. de Gen., dernière série)..... II. 620.
— Puissance calorifique de la lumière de la lune. (C. Rend., XXII, 541)..... II. 629.
— Identité des radiations lumineuses et calorifiques..... II. 647.
— Rapports de température entre les rayons lumineux..... II. 648.
— Polarisation de la chaleur..... II. 672.
— Polarisation rotatoire de la chaleur..... II. 677.
— Analyse du mémoire de M. Draper, sur la production de la lumière par la chaleur..... III. 964.
— Réfutation des idées de Brewster sur la composition du spectre. III. 969.
— Rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique. (Bib. Univ., XXXIX, 121.)..... III. 1054.
— Lumière bleue de la grotte d'azur..... IV. 1660.
— Couleur vraie de l'eau..... IV. 1661.
Merz. Polarisation par un simple cube de verre. (Pogg. Ann., LXIII, 49)..... I. 345.
Meusnier. Ombres colorées..... II. 576.

Digitized by Google

Miller. Arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel. (Trans. Camb., VII, 3). I. 297.
— Raies produites par les absorbants gazeux. (Philos. Mag., II, 361). II. 436.
Miller de Cambridge. Raies sombres dans la lumière qui a traversé certaines vapeurs..... III. 1237.
— Lignes sombres et brillantes dans les divers spectres. (Phil. Mag., XXVII, 81)..... III. 1237.
— Reproduction artificielle des arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel..... IV. 1617.
Mitscherlich. Effet de la dilatation des cristaux sur l'angle des axes optiques..... I. 287.
— Effet de la chaleur sur les angles des cristaux..... I. 357.
— Pouvoir rotatoire des acides tartrique et paratartrique..... I. 375.
— Influence de la chaleur sur le pouvoir rotatoire..... IV. 1540.
Mitchell. Constitution du soleil..... II. 456.
Mohs. Polarisation par les cristaux adamantins..... IV. 1385.
Moigno. Caractère distinctif des cristaux à un axe positif ou négatif..... IV. 1592.
Moleyns (de). Action magnétique des rayons solaires..... III. 1014.
Morichini. Effet magnétique des rayons solaires..... III. 1006.
Morren. Formation des images de Moser. Images électriques et hydroélectriques. (C. Rend., XVII, 87)..... III. 923 à 928.
Moser. Procédé de la vision. Effet de la lumière sur tous les corps. (Pogg. Ann., LVI, 177)..... II. 797.
— Formation des images photographiques négatives et positives. II. 800.
— Ses images. (C. Rend., XV, 119, 448, 855, 1209)..... II. 814.
— Action de la lumière mise en évidence par les vapeurs..... II. 818.
— Condensation des vapeurs agissant comme la lumière..... II. 819.
— Contact, action des vapeurs et lumière identiques dans leur action..... II. 822.
— Deux corps mis en présence impriment l'un sur l'autre leur image..... II. 823.
— État latent de la lumière. (Pogg. Ann., LVII, 1)..... II. 827.
— Détermination de la couleur de la lumière latente..... II. 830.
— Rayons invisibles. (Pogg. Ann., LXVI, 369)..... II. 833.
— Action propre des rayons jaunes et verts..... II. 835.
— Unité d'action de toutes les couleurs sur l'iodure d'argent... II. 837.
— Nivellement des images..... II. 838.
— Remarques sur la lumière invisible. (Pogg. Ann., LVII, 1)..... II. 846.
— Différence entre les rayons lumineux et les rayons calorifiques. (Pogg. Ann., LVIII, 105)..... II. 850.
— Examen de sa théorie par Waidele..... II. 855.
— Explication du nivellement par Waidele..... II. 866.

Digitized by Google

Moser. Réponse aux objections de MM. Fizeau et Daguerre. (Pogg. Ann., LX, 40)..... II. 883.
— Action des vapeurs et des gaz sur les plaques daguerriennes... II. 884.
— Lumière latente de la vapeur de mercure. (Pogg. Ann., LX, 48). II. 885.
— Réponse à M. Edm. Becquerel. (Pogg. Ann., LXX, 412)..... II. 886.
— Action des rayons colorés sur l'iodure d'argent. (Pogg. Ann., LIX. 391)..... II. 887.
— Réponse aux observations critiques d'Herschell..... II. 888.
— Note sur ses expériences..... II. 891.
— Prétendues images de chaleur. (Pogg. Ann., LIX)..... III. 910.
— Action magnétique des rayons solaires..... III. 1009.
Mossotti. Causes de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique..... III. 1056.
— Spectres des réseaux et analyse de leur lumière. (Pise, 1845). III. 1265.
Müller. Décomposition prismatique des couleurs d'interférence. (Pogg. Ann., LXIX, 98; LXXI, 94)..... III. 1247.
— Décomposition prismatique des couleurs de divers fluides. (Pogg. Ann., LXXII, 76)..... III. 1256.
— Réponse aux objections de M. Ermann contre sa décomposition prismatique des couleurs. (Pogg. Ann., LXX, 115)..... III. 1263.
Muschembroeck. Recomposition du blanc..... IV. 1371.
Natterer. Chlorure de soufre pour la photographie..... II. 726.
Necker de Saussure. Couronnes..... I. 300.
— Coloration du Mont-Blanc au soleil couchant..... II. 580.
Neff. Rapport de la polarité électrique avec la lumière et la chaleur. (Pogg. Ann., LXVI, 414; LXIX, 141.)..... III. 1079, 1083.
Newmann. Objections contre la théorie de M. Cauchy..... I. 46.
— Formule pour la mesure des intensités de la lumière..... I. 51.
— Intensité des rayons réfléchis et réfractés..... I. 112.
Newton. Explication de la réflexion et de la réfraction..... I. 75.
— Accès de facile réflexion et de facile transmission..... I. 76.
— Objections contre le système des vibrations..... I. 109.
— Explication de la diffraction. — Objections..... I. 170.
— Anneaux colorés..... I. 206.
— Loi des anneaux colorés..... I. 207.
— Mesure des accès..... I. 208.
— Anneaux colorés par transmission..... I. 210.
— Explication des anneaux. Objections..... I 211.
— Couleurs des plaques épaisses..... I. 242.
— Pouvoirs réfringents des corps..... I. 323.
— Théorie de la couleur des corps..... II. 478.
— Image déterminée dans l'œil par l'action de la lumière solaire. II. 560.
— Couleur excitée dans l'œil par la pression..... II. 612.

Digitized by Google

Newton. Longueurs des accès des rayons colorés..... III. 1265.
— Recomposition du blanc..... IV. 1371.
— Application de sa règle chromatique à la détermination de la couleur des métaux..... IV. 1424.
— Séries de couleurs des anneaux colorés; rectification..... IV. 1478.
— Couleur bleue du ciel..... IV. 1598.
Nicholson. Couleurs des doubles surfaces à distance. (Edinb. Journ., II, 312.)..... I. 241.
Niépce (Isidore). Essais photographiques..... II. 698.
— Véritable inventeur de la photographie..... IV. 1686.
Niépce de St-Victor. Végétation de la pomme de terre hors de l'influence de la lumière..... III. 1146.
— Propriétés photographiques de l'iode, du phosphore et autres substances. (C. Rend. XXV, 579, 785.)..... III. 903. IV. 1700.
— Photographie sur verre. (C. Rend., XXVI, 637; XXV, 586.) IV. 1708 à 1710.
Nobili. Echelle chromatique..... II. 595.
Œrsted. Théorie de l'éclat. (Pogg. Ann., LX, 49.)..... II. 495.
Olmsted. Étoiles filantes..... II. 407.
Pasteur. Relation entre la forme cristalline et la composition chimique, cause de la polarisation rotatoire..... IV. 1549.
— Acides dextro-racémique et lévo-racémique..... IV. 1553, 1554.
— Divers modes de groupement du sulfate de potasse..... IV. 1557.
— Rapports de M. Biot sur ses mémoires..... IV. 1729.
Paul (James). Hauteur de l'aurore polaire..... II. 419.
Payer. Tendance des tiges vers la lumière. (C. Rend., XV, 1194; XVI, 986; XVII, 1043; XXII, 190.)..... III. 1096.
— Tendance des racines à fuir la lumière. (C. Rend., XVIII, 993, 1169; XX, 1257; XXII, 190.)..... III. 1104.
Pearsall. Phosphorescence produite par l'électricité..... III. 1002.
Péclet. Expériences sur les raies obscures excitées dans la rétine. II. 616.
Peltier. Froid produit au pôle négatif de la pile..... III. 1083.
Petit. Hauteur des bolides..... I. 293.
Pfaff. Action magnétique des rayons solaires..... III. 1012.
Pinaud. Empreintes électriques ou électrographiques..... III. 932.
Pittel (Baron von). Observation des houppes..... IV. 1363.
Plateau. Réfraction conique..... I. 98.
— Persistance des images..... II. 561.
— Mesure de la durée des impressions..... II. 562.
— Lois de la persistance des images..... II. 563.
— Moyen de mettre en évidence la figure réelle des objets en mouvement..... II. 567.
— Thraumatrope. — Anorthoscope..... II. 569.
— Phantascope. Phénakisticope..... II. 570.

Digitized by Google

Plateau. Couleurs subjectives du premier ordre..... II. 572.
— Couleurs subjectives simultanées..... II. 575.
— Théorie des couleurs subjectives ..... II. 586, 587.
— Théorie de l'irradiation. (Mém. de l'académie de Bruxelles). II. 598, 608.
— Recomposition du blanc..... IV. 1375.
Ploesl. Prismes à réflexion totale..... IV. 1357.
Plücker. Surface de l'onde et réfraction conique. (Journ. de Crelle, 19, 1)..... I. 97.
— Nouvelle propriété de la surface de l'onde..... I. 98.
— Construction de la surface de l'onde..... I. 99.
— Action du magnétisme et des aimants sur les axes optiques des cristaux. (Pogg. Ann. LXXII, 315; LXXII, 343; LXXVII, 447. Thèse inaugurale, Bonn, 1849)..... III. 1064, 1079. IV. 1721.
— Sur la surface de l'onde et la réfraction conique..... IV. 1314.
— Expérience nouvelle d'interférence..... IV. 1455.
Poggendorff. Moyen facile d'observer la réfraction conique. (Pogg. Ann. XLVIII, 461)..... I. 97.
Poggiale. Dosage du lait par le saccharimètre ..... IV. 1537.
Poggioli. Action des rayons solaires sur la direction ou la flexion des tiges des plantes..... III. 1107.
— Action de la lumière sur les plantes..... III. 1118.
Poisson. Propagation de l'ébranlement. Direction des vibrations moléculaires ..... I. 3.
— Intensité de la lumière réfractée ..... I. 48.
Potter. Expériences photométriques..... I. 56.
— Explication de l'arc-en-ciel gris..... IV. 1609.
Porta. Invention de la chambre obscure ..... II. 693.
Pouillet. Anneaux colorés ..... I. 246.
— Actinomètre ..... I. 291.
— Timbre du son..... II. 476.
— Répétition des expériences de M. Faraday sur la rotation du plan de polarisation par l'action magnétique..... III. 1036.
— Récomposition du blanc ..... IV. 1371.
Powell (Baden), Rayons circulairement polarisés par la simple réflexion. I. 115.
— Indices de réfraction des raies fixes du spectre solaire..... III. 1245.
— Vérifie les faits de polarisation elliptique obtenus par M. Dale. IV. 1386.
— Sur certains cas de polarisation elliptique par réflexion..... IV. 1389.
— Nouveau cas d'interférence de la lumière. (Philos. Mag., XXXIII, 155)..... IV. 1443.
— Polarisation elliptique à la surface des métaux..... IV. 1446.
— Sur la nouvelle polarisation observée par sir David Brewster. (Philos. Mag., XXVII, 81)..... IV. 1452.
— Chapelets dans les éclipses annulaires..... IV. 1654.

Digitized by Google

Powell. Aberration de la lumière. (Ph. Mag., XXIX, 425; XXX, 93). IV. 1758.
Prévost (Bénédict.) Couleur vraie des métaux..... II. 500. IV. 1424.
Priestley. Action de la lumière sur la végétation..... III. 1095.
Prieur de la Côte d'Or. Ombres colorées..... II. 576.
Pring. Gravure par l'action électrique..... III. 1012.
Prevostaye (de la). Réflexion de la chaleur rayonnante..... II. 679.
— Rotation du plan de polarisation de la chaleur sous l'influence magnétique..... III. 1060.
— Sur les anneaux colorés de Newton..... IV. 1480.
— Recherches sur la chaleur rayonnante..... IV. 1667.
— Polarisation de la chaleur..... IV. 1675 à 1677.
Purkinje. Ramifications de la rétine..... II. 618.
Quételet. Anneaux colorés..... I. 246.
— Lueur magnétique..... II. 126.
Quey. Phosphorescence de la mer..... III. 985.
Radicke. Remarques critiques sur l'aberration de la lumière (Repertorium der Physik, III)..... IV. 1757.
Ragona Scina. Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1125.
Ratel. Bromoforme. (C. Rend., X, 767.)..... II. 725.
— Théorie chimique des épreuves daguerriennes..... II. 755.
Rauch. Gravure se dessinant sur la glace qui la recouvre..... II. 852.
— Images de Rauch..... II 878.
Reade. Iriscope..... I. 239.
Regnault. Rapport sur les images photochromatiques obtenues par M. Edmond Becquerel..... IV. 1694.
Reiser. Liqueur allemande pour la photographie..... II. 725.
Rédolphi. Action magnétique des rayons solaires..... III. 1007.
Riess. Figures atmo-électriques. (Pogg. Ann., LXIX, 1.)..... III. 911.
— Images électriques. (Pogg. Ann., LXVII, 135; LXIX, 1.) II. 825. III. 936.
— Phosphorescence du diamant. (Pogg. Ann., LXIV, 354.)..... III. 1005.
— Action magnétique des rayons solaires. (Pogg. Ann., XVI, 588.) III. 1009.
Rive (de la). Chaleur produite au pôle positif de la pile. III. 1088.
— Explication de l'aurore polaire boréale et australe..... IV. 1759.
Ritter. Rayons chimiques..... II. 661.
— Pouvoir phosphorescent prépondérant des rayons bleus..... III. 999.
Rochon. Répartition de la chaleur dans le spectre..... II. 642.
Rose. Cristaux jumeaux..... I. 373.
Rudberg. Réfraction de la lumière colorée dans les cristaux. (Pogg. Ann., XIV, 45; XXXV, 522.)..... I. 357.
— Variation de la double réfraction avec la température. (Pogg. Ann., XXVI, 291.)..... I. 358.
Ruhmkorff. Appareil pour la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique..... III. 1050.

Digitized by Google

Rumford. Ombres colorées..... II. 576 à 592.
Russell (Scott.) Effet du mouvement de l'observateur sur le son. III. 1195.
Saussure. Diaphanomètre..... I. 290.
— Héliothermomètre. Cyanomètre..... I. 291.
Savart. Persistance de la durée des vibrations sonores..... I. 25.
— Élasticité des cristaux..... I. 330.
— Polariscope..... I. 353.
— Figure réelle de la veine liquide..... II. 567.
Scheele. Rayons chimiques..... II. 630.
Scherffer. Couleurs subjectives. (Vienne, 1765)..... II. 572.
— Théorie des couleurs subjectives..... II. 585.
Secretan. Foyer optique, foyer chimique et foyer photogénique. II. 731.
Seebeck (père). Répartition de la chaleur dans le spectre solaire. II. 649.
— Aptitude des divers rayons colorés à conduire la phosphorescence..... III. 981.
— Pouvoir phosphorescent prépondérant des rayons bleus..... III. 999.
Seebeck (fils). Nombre des daltoniens. (Pogg. Ann., LXVIII, 449; XLII, 177)..... II. 623.
— Classification des daltoniens..... II. 632.
— Interférence des rayons calorifiques. (Pogg. Ann., LXXVII, 574). IV. 1685.
Sénarmont (de). Polarisation elliptique produite par réflexion sur la surface des métaux doués de l'opacité métallique. (Annal. de Chimie et Physique, XX, 397)..... IV. 1391.
— Comparaison de ses recherches avec celles de M. Jamin..... IV. 1442.
— Différence entre les cristaux positifs et négatifs, sous le rapport de la conductibilité pour la chaleur..... IV. 1523.
Silbermann. Observations de polarisation atmosphérique..... I. 315.
— Explication physiologique des houppes. (C. Rend., XXIII, 882). IV. 1330.
— Réfutation de son hypothèse..... IV. 1332.
Siljistroëm. Rapport du magnétisme terrestre avec l'aurore polaire..... II. 424.
Smee. Platinisation des plaques galvaniques..... II. 743.
Smith. Ombres colorées..... II. 597.
— Expérience de couleurs subjectives..... II. 579.
Soleil. Plaque de cristal de roche naturel à deux rotations..... I. 370.
— Polarisation circulaire du cristal de roche..... I. 325.
— Spirales d'Airy..... I. Addit. et correct.
— Appareil pour l'expérience de M. de Wrede..... II. 556.
— Appareil pour mettre en évidence la double réfraction produite par la compression..... III. 1050.
— Raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1231.
— Chromascope..... III. 1276.
— Admirable exécution d'une longue série de prismes..... IV. 1327.

Digitized by Google

Soleil. Réclamation en sa faveur..... IV. 1397.
— Construction du baromètre-thermomètre et réfracteur interférentiel..... IV. 1490.
— Structure et propriété rotatoire du quartz cristallisé. (C. Rend., xx, 435)..... IV. 1510.
— Moyen de faciliter les expériences de polarisation rotatoire. Plaque à deux rotations. (C. Rend., xx, 1805)..... IV. 1514.
— Nouvel appareil pour la mesure des déviations du plan de polarisation, Compensateur. (C. Rend., xxi, 426)..... IV. 1516.
— Reproducteur des teintes sensibles..... IV. 1519.
— Saccharimètre. (C. Rend., xxiv, 973 ; xxvi, 162)..... IV. 1521.
— Construction de deux nouvelles plaques : plaque à ligne noire, plaque à teintes unies ou brisées..... IV. 1531.
— Saccharimètre appliqué au dosage du lait..... IV. 1537.
— Caractères distinctifs des cristaux à un axe, positifs ou négatifs. IV. 1592.
— Perfectionnements apportés à l'horloge polaire de Wheatstone. (C. Rend., xxviii, 511, 513)..... IV. 1650.
— Appareil pour faire apparaître des bandes noires dans le spectre formé par un rayon qui a traversé le cristal de roche..... IV. 1726.
Sommer. Cas singulier de daltonisme..... II. 629.
Sommerville (Madame de). Action chimique à travers différents milieux. (C. Rend., iii, 473)..... II. 683.
— Action magnétique des rayons solaires..... III. 1007.
Soret. Pléochroïsme des cristaux..... IV. 1565.
Soubeiran. Pouvoir rotatoire des sucres renfermés dans le miel. IV. 1538.
Sutherland. Polarisation des rayons chimiques. (Philos. Mag., xix, 52)..... II. 687.
Steinheil. Effet de la chaleur sur les angles des cristaux..... I. 357.
— Prisme des passages..... IV. 1357.
— Épreuve optique de la bière..... IV. 1544.
Stokes. Remarque sur la polarisation elliptique..... IV. 1391.
— Théorie du nouveau cas d'interférence découvert par M. Powell..... IV. 1445 à 1447.
— Ses travaux..... IV. 1448.
— Anneaux colorés au delà de l'angle critique..... IV. 1488.
— Théorie de l'aberration de la lumière. (Philos. Mag., xxvii, 9; — xxviii, 15, 76, 335 ; — xxix, 6, 62)..... IV. 1757.
Strehlke. Plaque galvanique de cuivre obtenue des images daguerriennes (Pogg. Ann., lx, 144.)..... II. 895.
Struve. Segment obscur de l'aurore polaire..... II. 416.
— Hauteur des aurores polaires..... II. 419.
Talbot. Réclamation contre Daguerre..... II. 700.
— Calotypie..... II. 701, 748.

Digitized by Google

Talbot. Bandes parallèles sur les feuilles très-minces de verre... IV. 1471.
— Véritable inventeur de la méthode photographique publiée par M. Blanquart-Evrard ..... IV. 1715.
Tanner. Initie M. Blanquart-Evrard aux procédés de M. Talbot. IV. 1715.
Thénard. Teintes du phosphore..... II. 489.
— Action chimique de la lumière solaire..... II. 683.
Thienemann. Hauteur de l'aurore polaire..... II. 419.
— Bruit des aurores polaires..... II. 421.
Thierry. Polissage des plaques daguerriennes..... II. 716.
— Liqueur invariable pour la photographie..... II. 725.
Towey. Théorie de la polarisation elliptique..... IV. 1390.
Trechsel. Ombres colorées..... II. 591.
Vallicourt (de). Brômure d'iode à effet constant..... II. 725.
Venturi. Arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel..... I. 297.
Volta. Action magnétique des rayons solaires..... III. 1006.
Waidele. Expériences et observations sur la lumière invisible de Moser. (Pogg. Ann., LIX, 255.)..... II. 854.
Walker. Rapport de la chaleur avec la polarité électrique. (Pogg. Ann., LXVI.)..... III. 1082.
Waller. Classification des couleurs..... III. 1273.
Walt. Action magnétique des rayons solaires..... III. 1009.
Wartmann. Caractères auxquels on reconnaît les daltoniens. (Bibl. univ. LVII, 322.)..... II. 635.
— Lueur magnétique..... II. 426.
— Rotation du plan de polarisation de la chaleur sous l'influence magnétique..... III. 1049.
— Sur les raies longitudinales du spectre solaire..... III. 1217, 1233.
— Sur divers phénomènes météorologiques ..... IV. 1651.
— Ombres atmosphériques..... IV. 1653.
Wedgewood. Premières expériences de photographie. Description d'un procédé pour copier des peintures sur verre et pour faire des silhouettes, par l'action de la lumière sur le nitrate d'argent. Londres, 1802.. II. 695.
Wheatstone. Caleïdophone..... II. 564.
— Photomètre. Chronoscope..... II. 565.
— Durée des éclairs..... II. 567.
— Expérience des cœurs agités..... II. 597.
— Ramifications de la rétine..... II. 619.
— Différence de la lumière solaire et de la lumière électrique... III. 996.
— Raies dans la lumière des corps qui brûlent aux pôles de la pile. III. 1243.
— Son horloge polaire; observation de l'heure par la lumière polarisée..... IV. 1648.
Whewel. Théorie mathématique de la physique optique..... IV. 1391.
Wilson. Constitution du soleil..... II. 456.

Digitized by Google

Wilson. Expériences sur les phosphores..... III. 997.
— Causes de la phosphorescence..... III. 992.
— Recherches sur la phosphorescence..... III. 998.
Wollaston. Démonstration expérimentale de la double réfraction d'Huyghens..... I. 83.
— Raies du spectre solaire..... II. 429.
— Rayons chimiques. (Tr. Ph. 1802)..... II. 681.
— Objectif périscopique..... II. 693.
Wrangel. Hauteur de l'aurore polaire..... II. 419.
— Bruit des aurores polaires..... II. 421.
Wrede (de). Explication du phénomène de l'absorption de la lumière dans la théorie des ondulations. (P. XXXIII, 253)..... II. 517 à 527.
— Raies produites par la décomposition prismatique du blanc du premier ordre..... III. 1247.
— Bandes parallèles sur les feuilles de mica..... IV. 1372.
Wünsch. Recomposition du blanc..... IV. 1371.
Young. Intensité de la lumière réfractée..... I. 48.
— Créateur de la théorie des ondes..... I. 69.
— Explication de la double réfraction..... I. 83.
— Diffraction ramenée aux interférences..... I. 173.
— Eriomètre, instrument servant à mesurer le diamètre des fibres et des petites particules..... I. 183.
— Les anneaux colorés ramenés aux interférences..... I. 213.
— Explication des couleurs des doubles surfaces à distances..... I. 241.
— Première explication de la polarisation rotatoire et circulaire... I. 263.
— Arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel..... I. 297.
— Explication des arcs surnuméraires de l'arc-en-ciel..... IV. 1614.
Zanotti. Causes de la phosphorescence..... III. 992.
Zantedeschi. Raies longitudinales du spectre. (Racc. Fis. Chim. it., I, 373)..... II. 617, 1216, 1220, 1232.
— Action magnétique des rayons solaires. (Bibl. Univ., XLI, 64). III. 1010.
— Influence des rayons colorés du spectre sur la végétation et la germination..... III. 1117.
— Sur la polarisation de l'atmosphère. (Raccolta Fis. Chi. I. 429. IV. 1645.
Zekalski. Classification des daltoniens. (Brochure spéciale. Paris, 1845). II. 634.
— Observation des houppes sans cristallin..... IV. 1331.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

du quatrième volume.

Préface.

Complément du Répertoire d'optique moderne, travaux de 1847, 1848, 1849, 1850.

Dispersion et réfraction de la lumière. — Chatoiement des surfaces cristallines, M. Haidinger..... 1295.

Double réfraction. — Mémoire sur la double réfraction conique, M. Plücker..... 1315.

Micromètre oculaire de M. Arago..... 1325.

Polarisation rectiligne circulaire et elliptique. — Des houppes colorées dans la lumière polarisée, M. Haidinger..... 1327.

Modification des houppes, M. Botzenhart..... 1365.

Sens des vibrations dans les rayons polarisés, MM. Babinet et Cauchy..... 1366 à 1370.

Formation du blanc par superposition des images complémentaires, M. Dove..... 1370.

Production du blanc par rotation, le même..... 1374.

Dépolarisation de la lumière, le même..... 1382.

Polarisation elliptique, M. Dale..... 1386.

Polarisation elliptique, M. Powell..... 1389.

Réflexion à la surface des corps opaques, M. de Senarmont.. 1391.

Réflexion métallique, M. Jamin..... 1397.

Sur la couleur des métaux, le même..... 1417.

Réflexion à la surface des métaux, le même..... 1431.

Couleur des corps, MM. Botzenhart et Haidinger..... 1437.

Emploi de la lumière polarisée dans le microscope, sir D. Brewster. 1439.

Polarisation elliptique, M. Powell..... 1441.

Nouvelle théorie de la polarisation, M. Challis..... 1442.

Interférences de la lumière.—Nouveau cas, M. Powell..... 1443.

Nouvelle polarisation de la lumière, sir David Brewster..... 1448.

Expériences nouvelles d'interférences, M. Plücker..... 1455.

Sur le phénomène des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche, MM. Fineau et Foucault. — Interférences produites par l'appareil des miroirs..... 1461.

Par réflexion sur des lames minces..... 1463.

Par double réfraction..... 1464.

Bandes parallèles du mica, M. Haidinger..... 1470.

Anneaux colorés dans les milieux dichromatiques, MM. Lorve et Haidinger..... 1473.

Série des couleurs des anneaux de Newton, M. Ernest Brucke..... 1477.

Sur les anneaux colorés, M. de la Provostaye et P. Desains..... 1480.

Sur les anneaux colorés et instruments nouveaux, M. Jérichau..... 1481.

Diffraction. — Causes de la diffraction, M. de Haldat..... 1490.

Diffraction dans le vide, M. Magnus..... 1492.

Recherches sur l'inflexion ou la diffraction, lord Brougham..... 1498.

Polarisation rotatoire. — **Dispersion des plans de polarisation.** — Polarisation du quartz, M. Jamin..... 1502.

Structure et propriété rotatoire du quartz cristallisé, M. Soleil..... 1511.

Moyen de faciliter les expériences de polarisation rotatoire, le même. 1511.

Nouvelle lunette prismatique de M. Arago..... 1516.

— A mesurer les déviations dans les expériences de polarisation rotatoire. M. Soleil..... 1517.

Reproducteur des teintes sensibles, le même..... 1519.

Saccharimètre, le même..... 1521.

Plaques mettant en évidence les déviations du plan de polarisation, le même..... 1531.

Digitized by Google

Dosage du sucre des diabétiques par le saccharimètre, M. Lespiau. — Albuminimètre de M. Alfred Becquerel..... 1535.
Dosage du sucre de lait par le saccharimètre, M. Poggiale..... 1537.
Pouvoir rotatoire des sucres du miel, M. Soubeiran..... 1537.
Propriétés optiques de l'acide camphorique, M. Bouchardat..... 1539.
Phénomènes rotatoires et propriétés des sucres, M. Dubrunfaut..... 1540.
Epreuve optique de la bière, M. Herschel..... 1544.
Rapports de la forme cristalline et la composition chimique, M. Pasteur..... 1549 à 1553.
Acides dextro-racémiques et levo-racémiques, le même..... 1554.
Mode de groupement du sulfate de potasse, le même..... 1557.
Optique minéralogique. — Chatoiement, M. Haidinger. 1558 à 1565. Pléochroïsme, le même. 1565 à 1587. Propriétés de l'andalousite, le même. 1587. Propriété du diaspore, le même. 1591. Cristaux attractifs et répulsifs, MM. Moigno et Soleil..... 1592.
Optique météorologique.—Nature des parties de l'atmosphère, M. Clausius. 1595. Couleur bleue du ciel, aurore et coucher du soleil, le même. 1598. Notice sur l'arc-en-ciel, M. Bravais. 1603. Instruction sur l'observation de l'arc-en-ciel, le même. 1618. Phénomènes optiques auxquels donnent lieu les nuages à particules glacées; halos, anthélies, parhélies, etc. 1622 à 1638. Polarisation de l'atmosphère, Sir David Brewster. 1639 à 1648. Horloge polaire, M. Wheatstone. 1648. Phénomènes météorologiques, M. Wartman. 1651. Chapelets dans les éclipses, M. Powell. 1654. Lumière de la lune dans les éclipses, M. Babinet, 1656. Couleur de l'eau, MM. Durocher et Martins, de Haldat, Melloni, Arago..... 1657.
Rayons calorifiques. — Pouvoirs rayonnants, absorbants et diffusifs, MM. Masson et Courte-Épée. 1648. Chaleur rayonnante, MM. Knoblauch, de la Provostaye et Desains. 1664. Longueur d'onde, double réfraction, polarisation, diffraction, interférences des rayons calorifiques, MM. Fizeau, Knoblauch, de la Provostaye et Desains, Fizeau, Foucault et Seebeck..... 1668 à 1686.
Rayons photogéniques. — Isidore Niepce est le véritable inventeur de la photographie. 1686. Phénomènes principaux de la photographie, M. Claudet. 1689. Images photochromatiques de M. Edmond Becquerel. 1694. Propriétés singulières de l'iode, du phosphore, d'el'acide azotique, M. Niepce de Saint-Victor. 1700. Photogragraphie sur verre, le même. 1708. Photographie sur verre, M. Blanquart-Éverard. 1713. Diverses méthodes ou propriétés photographiques. 1716. Action de la lumière sur le bleu de Prusse, M. Chevreul..... 1717.
Rayons phosphorogéniques. — Phosphorescence par insolation, M. Becquerel. 1718. Phosphorescence des poissons et de la mer, M. Matteucci. 1719.
Rapports du magnétisme avec la lumière. — Polarisation magnétique, M. Bertin. 1720. Action des aimants et des courants sur les axes optiques des cristaux, M. Plucker. 1720. Analyse des mémoires de M. Biot. 1722 à 1735. Analyse des mémoires de M. Cauchy. 1735 à 1749. Analyse des mémoires de M. Laurent. 1749. Perfectionnement des appareils d'acoustiques, d'optique et d'astronomie physique, M. Doppler. Aberration de la lumière, MM. Challis, Stokes, Powel. 1756 à 1760. Aurore polaire, M. de La Rive. 1760.
Additions.—Polarisation chromatique, MM. Fizeau et Foucault. 1761. Vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau, M. Léon Foucault. 1763. Polarisation en rapport avec les réseaux, sir David Brewster. 1766. Cavités dans la topaze, le même. 1768. Réfraction des raies de Fraunhofer, illuminateur, loi de Descartes; l'abbé Dutirou 1769; spectre solaire, sir David Brewster. 1771 Cristaux entre les pôles des aimants et des électro aimants, MM. Knoblauch et Tyndal. 1774. Croix noire dans un verre. 1775. Mémoire sur la photométrie de M. Arago. 1776 à 1780. Table analytique par ordre alphabétique des matières. 1781. Table alphabétique des noms d'auteurs..... 1823.

PARIS. — IMPRIMERIE DE WITTERSHEIM 8, RUE MONTMORENCY

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google